5/2

Radio

Inhoud

Zoals in alle bereiken van de elektronica heeft de moderne techniek ook in de radio-ontvangers diepe sporen nagelaten. De huidige integrering heeft niet alleen de afmetingen verkleind, maar ook de kwaliteit verbeterd, de levensduur verlengd en de prijs verlaagd.
De aloude huis-ontvanger bestaat in feite niet meer als dusdanig. Zijn plaats is ingenomen door zeer gecompliceerde apparaten met meerbanden-ontvangst, stereo-decoding, digitale frequentie-indicatie, geheugen voor zender-frequenties, storings-onderdrukking en vermogens-eindtrappen.
Daarnaast kent men de draagbare uitvoering, die in de hogere prijsklasse niet minder mogelijkheden biedt dan de net genoemde.
Vaak is zelfs nog een kassette-recorder geïntegreerd en er zijn zelfs draagbare apparaten met twee kassette-spelers in de handel.
Ook de auto-radio is geëvolueerd van een simpele ontvanger tot een zeer gecompliceerd apparaat met alle reeds genoemde mogelijkheden en vaak zelfs nog veel meer, zoals automatische zender-omschakeling bij het bereiken van de grenzen van het bereik van een zender en automatische informatie-systemen (ARI).
In feite treft men de aloude "radio-ontvanger" alleen nog maar aan in de wekker-radio's, die om de prijs van de apparatuur zo laag mogelijk te houden, tot de meest fundamentele mono-ontvangst-functie zijn teruggebracht.

Om fouten op te sporen in radio-ontvangers heeft men dus veel meer achtergrond-kennis nodig dan de fundamentele ontvanger-theorie die in dit hoofdstuk wordt besproken. Meer dan oppervlakkige bekendheid met digitale technieken is zonder meer noodzakelijk.
Gelukkig heeft de moderne techniek als voordeel dat de schakelingen veel betrouwbaarder zijn geworden. Dit is in niet geringe mate te wijten aan het veel lagere vermogensverbruik, waardoor de onderdelen veel minder warmte produceren en de kans op defecten daalt. Bovendien neemt, ondanks de veel grotere mogelijkheden van de apparatuur, het aantal onderdelen door de hoge integratie-graad af, zodat er minder foutbronnen aanwezig zijn. Tot slot wordt de betrouwbaarheid in de hand gewerkt door het steeds minder toepassen van afgestemde LC-kringen. Keramische afgestemde filters en PPL-technieken moeten niet afgeregeld worden, zodat het gevaar ook niet aanwezig is dat door verouderingen de instelling van de kringen gaat verlopen.

Men kan rustig stellen dat zeker de helft van de fouten terug te voeren is op mechanische storingen, zoals kontact-problemen in schakelaars, haarscheurtjes in printen, afgebroken draden en slijtage van het bandloop-mechanisme. En dat zijn nu net fouten waar niet zozeer een diepgaande algemene elektronische kennis wordt vereist, maar een grote dosis gezond verstand en veel geduld.

In dit hoofdstuk wordt de fundamentele werking van FM- en AM-ontvangers beschreven. Deze principes treft men zowel in de meest eenvoudige als in de meest uitgebreide apparaten aan. Aan de hand van deze algemene basis en de schema's van de te repareren apparatuur zal men in de meeste gevallen vrij snel de verschillende blokken van

het apparaat kunnen terugvinden en de lokatie van de storing kunnen achterhalen. Het opsporen van de defecte onderdelen in dat blok is dan een zaak van het gezonde verstand!

Op dat gezonde verstand wordt ook een beroep gedaan bij het in acht nemen van enige fundamentele veiligheids-eisen. Alle apparaten mogen dan tegenwoordig wel met ongevaarlijke voedingsspanningen werken, in de meeste gevallen is er wel een netvoeding aanwezig en staat er dus op een aantal punten van het interne van het apparaat een in principe levensgevaarlijke spanning! Men doet er dus verstandig aan werkzaamheden in geopende radio-apparatuur alleen maar met een scheidingstrafo tussen het net en het apparaat uit te voeren. Wie geen scheidingstrafo ter beschikking heeft en uit misplaatste zuinigheid zo'n ding ook niet wil aanschaffen wordt aangeraden de interne netvoeding los te koppelen en de schakelingen uit een gestabiliseerde laboratorium-voeding te voeden.
Voor het controleren van de goede werking van het primaire circuit heeft men de netspanning trouwens niet nodig. Een op weerstandsmeting geschakelde universeelmeter volstaat om onderbrekingen in de netkabel, de schakelaar, de steker en de trafo op te sporen.
Het enige moment waarop het apparaat op het net aangesloten moet zijn is als men de werking van de voeding wil kontroleren. Nadat men de ongestabiliseerde spanningen over de grote afvlakelco's heeft gemeten (vaak wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van symmetrische voedingen) kan men het apparaat uitschakelen, de verbindingen tussen deze elco's en de gelijkrichters onderbreken en op de elco's even grote spanningen als de gemeten aanleggen, afkomstig van een of twee laboratorium-voedingen. Zou na aanschakelen van deze apparaten blijken dat het te repareren apparaat het plotseling goed doet, dan weet men meteen dat de fout gezocht moet worden in de trafo of de gelijkricht-dioden.
Het zou echter ook kunnen voorkomen dat een van de afvlakelco's verouderd is, waardoor de capaciteit tot een fractie van de nieuwwaarde gedaald is. Deze fout kan men op deze manier niet opsporen, omdat de laboratorium-voedingen goed gestabiliseerde spanningen leveren en de waarde van de elco er dan in feite niets toe doet.
Denk er echter wel aan dat ontvangers met grote eindvermogens zeer grote piekstromen van de voeding vragen en dat de meeste laboratorium-voedingen een ingebouwde stroombegrenzing hebben. De wel vijf ampère grote piekstroom tijdens de top van een sinus veroorzaakt het aanslaan van de stroombegrenzing, waardoor de uitgangsspanning van de laboratorium-voeding gaat dalen. Belast tijdens de tests de eindversterkers dus met weerstanden van ongeveer 1 k-ohm.

Een ander punt waar men bij het werken in radio-ontvangers moet op letten is dat men nooit zomaar aan de kernen van spoelen moet gaan draaien. In het gunstigste geval geraakt het apparaat volledige ontregeld. In het ongunstigste geval gaat het apparaat als zender werken en kan de ontvangst van radio- en TV-signalen in de wijde omgeving gestoord worden.

5/2.1

Samenstelling en werking van radio-ontvangers

5/2.1.1 Inleidende begrippen

Inleiding

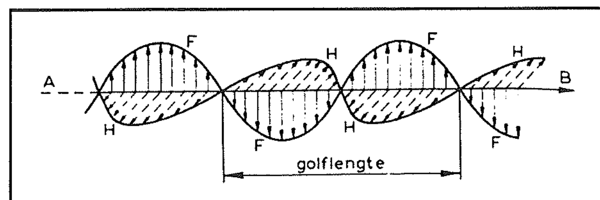
In dit subhoofdstuk wordt een aantal begrippen besproken, die de basis vormen van het verschijnsel dat men "radio" noemt. Zonder inzicht in deze begrippen kan men de werking van een radio-ontvanger niet begrijpen!

In dit subhoofdstuk, maar trouwens ook in de rest van dit hoofdstuk, zullen een aantal principes en schakelingen aan de orde komen, die reeds in andere delen van dit naslagwerk in vorige aanvullingen besproken zijn. Voor de goede orde en voor de volledigheid van het verhaal worden deze hier echter toch nog eens behandeld, zij het dat steeds gepoogd zal worden aanvullende informatie te geven.

Elektromagnetische straling

Radio werkt dank zij het feit dat er elektromagnetische straling bestaat. Het was reeds in de vorige eeuw opgevallen dat een elektrische wisselspanning, die tussen twee vrij in de ruimte opgehangen geleiders werd aangebracht, in de ruimte rond de geleiders "iets" veroorzaakte. Dat "iets" kon op een andere plaats weer worden opgevangen door op die andere plaats ook twee vrije geleiders in de ruimte op te hangen. Tussen die twee geleiders werd een zeer kleine wisselspanning gemeten, met dezelfde frequentie als deze van het signaal dat het "iets" had veroorzaakt.

Het was de wetenschapper Heinrich Rudolf Hertz die dit verschijnsel wetenschappelijk en wiskundig onderzocht en de theorie van de elektromagnetische straling uitwerkte. Volgens deze theorie veroorzaakt een wisselspanning die tussen twee vrije geleiders wordt aangebracht twee loodrecht op elkaar staande velden in de ruimte, die elkaar wederzijds onderhouden en zich met de snelheid van het licht (ongeveer 300.000 km/s) door de ruimte voortplanten. Deze twee golven kunnen voorgesteld worden volgens figuur 5/2.1.1-1.



Figuur 5/2.1.1-1: De voortplanting van een elektromagnetische golf in de ruimte.

De elektromagnetische straling wordt gekenmerkt door de golflengte λ. Tussen de frequentie en de golflengte kan de volgende relatie worden opgesteld:

$\lambda = c/f$

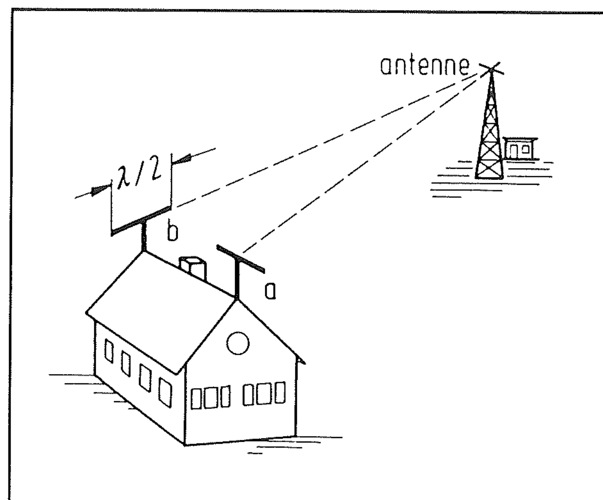
2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

waarin:
- c staat voor de voortplantingssnelheid van de eletromagnetische golf, dus de lichtsnelheid;
- f staat voor de frequentie van de elektromagnetische golf.

Uit deze formule kan men berekenen dat een elektromagnetische straling met een frequentie van 20 kHz een golflengte van niet minder dan 15.000 m (15 km) heeft!

Antennes
De systemen waarmee elektromagnetische straling worden uitgezonden en ontvangen noemt men antennes. Er moet een bepaalde relatie bestaan tussen de golflengte van de uit te zenden straling en de afmetingen van de antennes (zie figuur 5/2.1.1-2). Dit is de voornaamste reden waarom het niet mogelijk is geluid (met een bandbreedte van 20 Hz tot 20 kHz) rechtstreeks als elektromagnetische straling uit te zenden en weer op te vangen. De afmetingen van de antennes zouden, vanwege de zeer grote golflengte van de straling, volledig onhandelbaar worden.

Modulatie
Wil men dus geluid en muziek, met een frequentieband tussen 20 Hz en 20 kHz, via elektromagnetische straling van zender naar ontvanger versturen, dan zal men een kunstgreep moeten toepassen. Deze kunstgreep werd reeds in de vorige eeuw ontdekt en heet "modulatie". Bij alle modulatie technieken wordt een hoogfrequent signaal als basis gebruikt voor het uitzenden en weer ontvangen van de elektromagnetische straling. Door de hoge frequentie van dit signaal is de golflengte relatief gering, namelijk tussen 1.000 m en 10 cm. Deze elektromagnetische golven kunnen met antennes van praktische afmetingen uitgezonden en ontvangen worden. De geluidsinformatie wordt nu op de een of andere manier verweven in een van de karakteristieken van het hoogfrequente signaal.
Het hoogfrequente signaal wordt de draaggolf genoemd, de laagfrequente informatie de modulator of het modulatiesignaal.

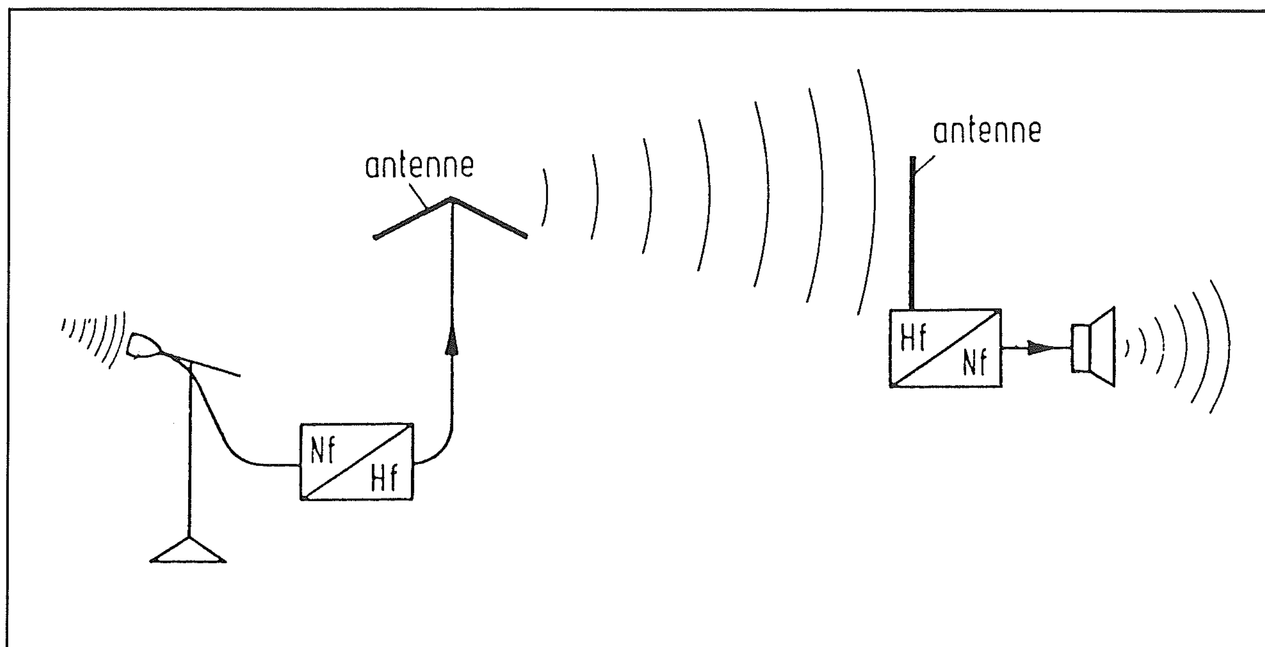


Figuur 5/2.1.1-2: Tussen de golflengte van de elektromagnetische straling en de afmetingen van een antenne bestaat een bepaald verband.

Een zuiver sinusvormig wisselspanningssignaal heeft maar drie karakteristieken waarop men invloed kan uitoefenen:
- de grootte of amplitude;
- de frequentie;
- de fase ten opzichte van een referentiesignaal.

En dus heeft men in de loop der jaren drie modulatie technieken ontworpen, die ieder het modulatiesignaal op een kenmerkende manier in de draaggolf verwerken. Voor ontvangst van radiosignalen zijn alleen van belang:
- AM, amplitude modulatie;
- FM, frequentie modulatie.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.1-3: Het basisprincipe van radio.

Beide systemen worden nog steeds wereldwijd gebruikt voor het uitzenden van radioprogramma's en de eigenschappen van deze beide modulatie systemen zullen in de volgende paragrafen dan ook uitvoerig besproken worden.

Frequentieverdeling

Een tweede, even belangrijke, reden waarom gebruik gemaakt moet worden van modulatie is het feit dat er wereldwijd duizenden radiozenders actief zijn.
Zouden deze allemaal de zuivere LF-informatie op de antenne zetten, dan zou de ruimte vol zijn met elektromagnetische straling met frequenties tussen 20 Hz en 20 kHz. Geen enkele radio-ontvanger zou in staat zijn uit te zoeken welke straling van welke zender afkomstig was! Door het principe van hoogfrequente modulatie toe te passen kan men aan iedere zender een bepaalde draaggolffrequentie toekennen. Dit noemt men "de frequentieverdeling van de ether" en daarover zijn zelfs internationale afspraken gemaakt. Door hun selectieve werking (zie verder) zijn radio-ontvangers in staat de elektromagnetische straling met een welbepaalde frequentie (of beter gezegd frequentieband) uit het antenne-aanbod op te pikken en dit selectief verder te verwerken. Op deze manier kan men een ontvanger afstemmen op een bepaalde zender.

Het principe van radio

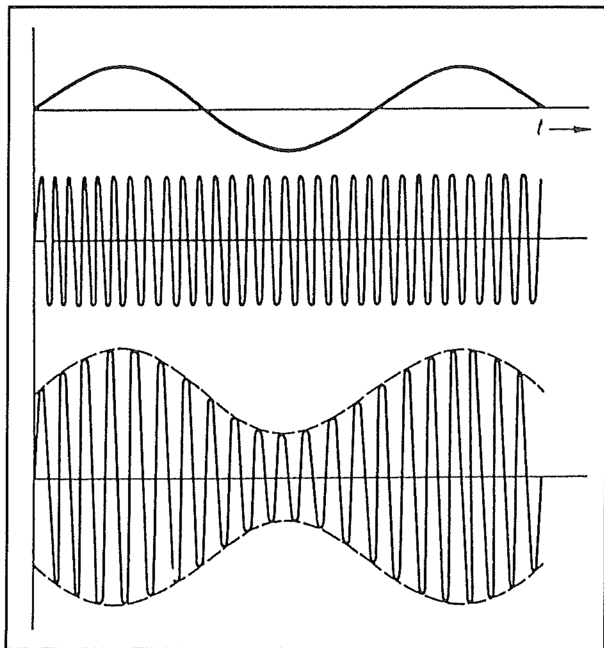
Aan de hand van de tot nu toe verstrekte gegevens kan het basisprincipe van radio samengevat worden door het schemaatje in figuur 5/2.1.1-3.

In de zender wordt de uit te zenden laagfrequente informatie Nf, bijvoorbeeld opgepikt door een microfoon, omgezet in een hoogfrequent signaal Hf met een welbepaalde frequentie die specifiek is voor de zender. Dit noemt men het moduleren. Het Hf-signaal wordt vervolgens naar de zendantenne gestuurd. De elektromagnetische straling die daarvan het gevolg is wordt bij de ontvanger selectief

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

opgepikt door de ontvangstantenne en omgezet in een hoogfrequent signaal Hf, met dezelfde frequentie als de draaggolf van de zender. Dit signaal wordt in de ontvanger weer getransformeerd naar een laagfrequent signaal Nf.
Dit proces noemt men het demoduleren. Nadien gaat het laagfrequente signaal, dat een zo nauwkeurig mogelijke reproductie is van het Nf-signaal dat werd uitgezonden, naar de luidspreker van de radio-ontvanger.

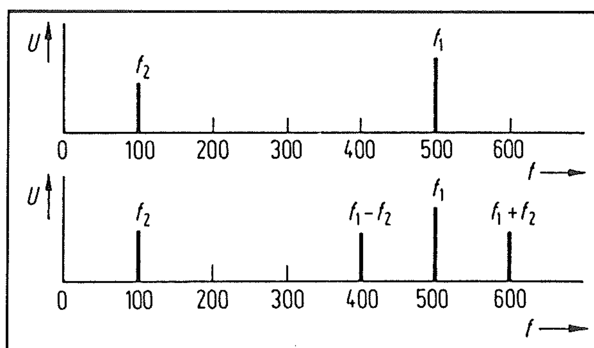
Amplitude modulatie
Zoals uit figuur 5/2.1.1-4 blijkt, wordt de LF-informatie bij AM verborgen in de momentele waarde van de draaggolf. De amplitude van de draaggolf varieert op het ritme van het LF-signaal. De draaggolf is sinusoidaal, de LF-informatie kan iedere gewenste vorm hebben. In het getekende voorbeeld verloopt het LF-signaal ook sinusoidaal.



Figuur 5/2.1.1-4: Het principe van amplitude modulatie.

De in amplitude gemoduleerde draaggolf zélf heeft geen sinusoidaal verloop. Zoals men weet kan men ieder periodiek signaal dat een van een zuivere sinus afwijkende vorm heeft, voorstellen door een mengeling van een aantal zuivere sinusvormige signalen met verschillende frequenties en amplitudes.
Dat is een gevolg van de wiskundige theorie, die men Fourier-analyse noemt. Dat geldt dus ook voor een AM-signaal. Deze mengeling noemt men "het frequentiespectrum".
Bij AM kan men twee gevallen onderscheiden.

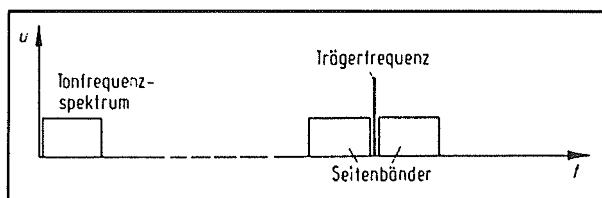
- Zuiver sinusoidale modulatie
  Moduleert men een draaggolf met frequentie f_1 met een zuiver sinusvormig signaal met frequentie f_2, zoals getekend in figuur 5/2.1.1-5, dan zal het frequentiespectrum van het gemoduleerde signaal niet alleen signalen met de frequenties f_1 en f_2 bevatten, maar ook nog twee signalen met de som- en de verschilfrequenties $(f_1 - f_2)$ en $(f_1 + f_2)$.
  Dit is voorgesteld in de onderste grafiek.



Figuur 5/2.1.1-5: Het frequentiespectrum als men een sinusoidaal signaal met frequentie f_2 in amplitude moduleert op een draaggolf met frequentie f_1.

Het totale signaal bestaat dus uit samenstellende signalen met frequenties van:
- f_2;
- $f_1 - f_2$;
- f_2;
- $f_1 + f_2$.

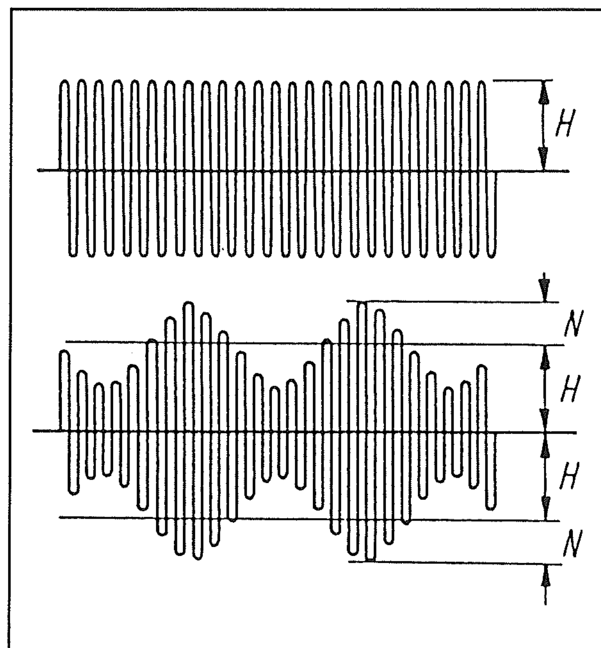
- Modulatie met een spectrum
Moduleert men de draaggolf niet met een signaal met een vaste frequentie, maar met een signaal dat een volledig frequentiespectrum bevat (bijvoorbeeld een gecompliceerd geluidssignaal of een vierkantvormig signaal), dan zal het duidelijk zijn dat er in het gemoduleerde signaal twee frequentiebanden ontstaan, die naast de frequentie van de draaggolf gelegen zijn. Dit wordt voorgesteld in figuur 5/2.1.1-6. Deze frequentiebanden noemt men de zijbanden van het amplitude gemoduleerde signaal.



Figuur 5/2.1.1-6: De frequentiesamenstelling van een AM-signaal als er gemoduleerd wordt met een laagfrequent spectrum, zoals een geluidssignaal.

Deze eigenschap van een AM-signaal is zeer belangrijk! Het zal duidelijk zijn dat het niet volstaat in de selectieve ontvanger alleen het signaal met de draaggolffrequentie te versterker! De ontvanger moet in staat zijn een bepaald frequentiegebied rond de draaggolffrequentie te verwerken. De zijbanden mogen immers niet verzwakt worden, want zij bevatten de LF-informatie! Vandaar dat een radio-ontvanger een bepaalde bandbreedte moet hebben: een frequentieband rond de draaggolffrequentie waarin alle voorkomende frequenties even veel versterkt moeten worden.

Een van de belangrijkste specificaties van een AM-signaal is de modulatiediepte, voorgesteld door de letter m. Deze grootheid wordt grafisch toegelicht aan de hand van figuur 5/2.1.1-7.



Figuur 5/2.1.1-7: De grafische definitie van de modulatiediepte m bij AM.

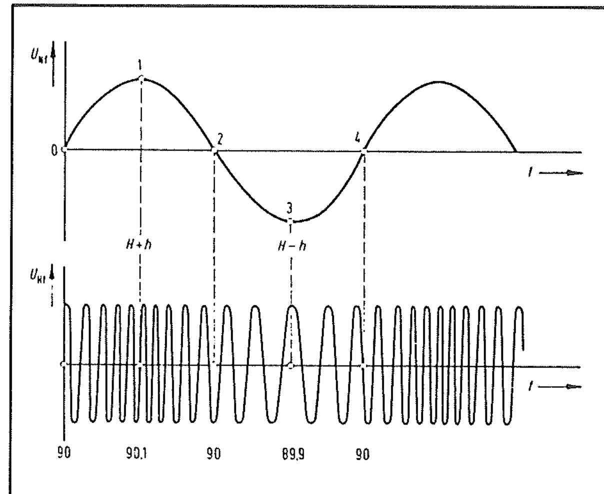
De ongemoduleerde draaggolf heeft een amplitude die gelijk is aan H. In de onderste grafiek is dezelfde draaggolf getekend, maar nu gemoduleerd. Door deze modulatie gaat de amplitude van de draaggolf variëren en wel tussen een bepaald minimum en een bepaald maximum, symmetrisch gelegen rond de waarde H. De maximale afwijking in de amplitude wordt voorgesteld door N.

De modulatiediepte m wordt nu gedefinieerd door de formule:
m = (N/H) x 100%

Amplitude modulatie is een eenvoudige en zeer oude techniek voor het verzenden van radiosignalen.
Toch heeft de methode één groot nadeel. Het systeem is zeer gevoelig voor storingen.
Een storing uit zich immers door een niet geplande afwijking in de amplitude van het signaal. Deze afwijking kan door de ontvanger niet onderscheiden worden van de uitgezonden LF-informatie.
Vandaar dat AM-zenders veel last hebben van kraken en ploppen.
Ondanks deze zware beperking is amplitude modulatie nog steeds dé modulatiemethode van alle zenders in de korte, midden en lange golf banden. Iedere radio-ontvanger is dan ook voorzien van een AM-demodulator.

Frequentie modulatie
Bij FM zit de laagfrequente informatie niet verborgen in de amplitude van de draaggolf. Deze wordt constant gehouden. Zoals uit figuur 5/2.1.1-8 blijkt zit de LF-informatie in de frequentie-afwijking tussen de momentele waarde van de frequentie van de draaggolf en de frequentie van het ongemoduleerde draaggolfsignaal.

In het getekende voorbeeld bedraagt de ongemoduleerde frequentie van de draaggolf 90 MHz (punt 2).
Door het moduleren gaat de frequentie van dit signaal symmetrisch rond deze waarde schommelen. Een positief LF-signaal heeft een frequentiestijging tot gevolg (punt 1), een negatief LF-signaal een frequentiedaling (punt 3).



Figuur 5/2.1.1-8: Het principe van frequentiemodulatie.

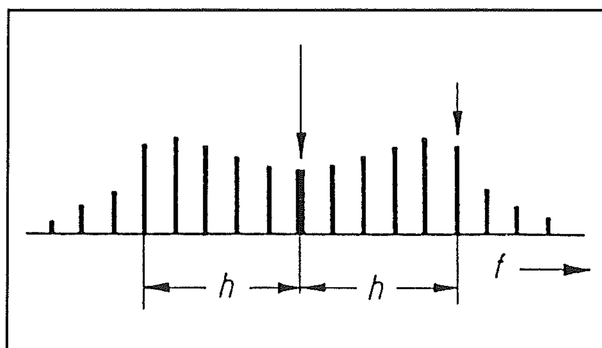
Ook nu heeft de draaggolf een veel hogere frequentie dan de LF-informatie en heeft een sinusvormig verloop. De LF-informatie kan iedere gewenste vorm hebben.

Bij een harmonische Fourier-analyse van een FM-signaal blijkt dat dit een veel ingewikkelder frequentiesamenstelling heeft dan een AM-signaal.
Er ontstaan ook zijbanden, maar veel meer dan twee. Deze zijbanden liggen symmetrisch ten opzichte van de frequentie van de ongemoduleerde draaggolf. Hun onderlinge frequentie-afstand is gelijk aan de frequentie van de LF-informatie. In figuur 5/2.1.1-9 is het frequentiespectrum getekend van een FM-signaal dat gemoduleerd wordt met een sinusoidaal LF-signaal. De dik getekende frequentie in het midden, aangegeven met een pijltje, is de frequentie van de draaggolf.

Ook bij FM kan men het begrip modulatiediepte definiëren. De modulatiediepte, nu aangegeven met de letter h, is de groot-

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

ste frequentie-afwijking van het FM-signaal ten opzichte van de frequentie van de ongemoduleerde draaggolf. De totale frequentiezwaai van de draaggolf bedraagt dus 2 x h.
In de praktijk zal men h minstens vijf maal hoger maken dan de maximale frequentie van de LF-informatie. Gebruikt men het FM-signaal voor het uitzenden van muziek, dan beperkt men de bandbreedte van het muzieksignaal tot 15 kHz en moduleert met een h van 75 kHz. Dat betekent dat de frequentiezwaai op het FM-signaal 150 kHz zal bedragen als de LF-informatie de maximale amplitude heeft.



Figuur 5/2.1.1-9: De frequentiesamenstelling van een FM-signaal dat gemoduleerd is met een sinusvormig LF-signaal.

Het grote voordeel van FM ten opzichte van AM is dat het gemoduleerde signaal veel ongevoeliger is voor storingen. Storingen op een signaal uiten zich voornamelijk in amplitude-afwijkingen. AM is daar zeer gevoelig voor, FM in veel mindere mate. Natuurlijk wil dat niet zeggen dat FM helemaal niet gevoelig is voor storingen! Naast een duidelijk merkbare amplitude-aantasting heeft iedere stoorpuls ook invloed op de frequentiesamenstelling van het gestoorde signaal. En voor die frequentie-aantasting is ook FM helaas gevoelig.

De ontvangstbanden

Een standaard radio-ontvanger beschikt over vier ontvangstbanden, waarvan er drie amplitude gemoduleerd (AM) zijn en één werkt met frequentie modulatie (FM).
De in het onderstaande overzicht genoemde frequenties zijn de frequenties van de draaggolven waarop zenders in de banden uitzenden.

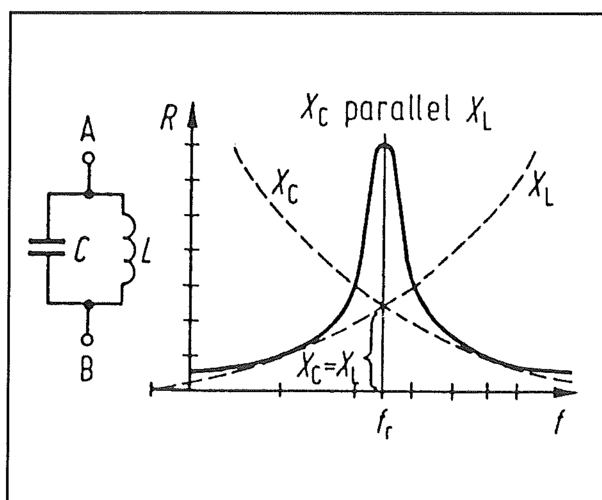
- De lange golf (LW) bestrijkt het frequentiegebied van 150 kHz tot 285 kHz en wordt in amplitude gemoduleerd.
- De midden golf (MW) gaat van 535 kHz tot 1.605 kHz en werkt ook met het AM-principe.
- De korte golf (SW) heeft een frequentiebereik van 6 MHz tot 21,45 MHz en werkt ook met AM-signalen.
- De ultra korte golf (UKW) bestrijkt het frequentiegebied van 88 MHz tot 108 MHz en werkt met frequentie modulatie.

Afgestemde versterkers

Zoals reeds gezegd zal een radio-ontvanger in staat moeten zijn uit de veelheid van elektromagnetische straling die door de antenne wordt opgepikt die frequentie te selecteren waarop een welbepaalde zender uitzendt. Dat kan alleen maar als men overvloedig gebruik maakt van afgestemde versterkers. Dat zijn spanningsversterkers, die niet tot taak hebben een zo breed mogelijke frequentieband te versterken, maar ingesteld kunnen worden op een smalle frequentieband. Alle signalen met frequenties die buiten deze band vallen worden niet versterkt of in ieder geval behoorlijk verzwakt.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

Afgestemde versterkers, ook wel selectieve versterkers genoemd, werken met een frequentie-afhankelijke belasting in de collector- of emitterkring.
De basisschakeling van een dergelijke frequentie-afhankelijke belasting is getekend in figuur 5/2.1.1-10.



Figuur 5/2.1.1-10: De basisschakeling van een frequentie-afhankelijke belasting.

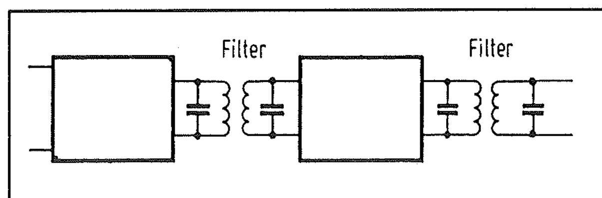
De schakeling is opgebouwd uit de parallelschakeling van een condensator C en een spoel L. In de grafiek is het verband getekend tussen de frequentie van het signaal dat men aan deze kring aanlegt en de impedantie of wisselstroomweerstand van de kring voor deze frequentie. Duidelijk blijkt dat er een bepaalde frequentie f_r is, waarvoor de impedantie van de kring het grootst is. Voor alle signalen met kleinere of grotere frequenties zal de impedantie veel lager zijn. De frequentie f_r noemt men de resonantiefrequentie van de kring.
Het verschijnsel is te verklaren door het verloop van de individuele impedanties van de condensator en de spoel te beschouwen. De condensator heeft een impedantie X_c die daalt met de frequentie van het signaal. De spoel echter heeft een impedantie X_l die stijgt met stijgende frequentie. De twee onderdelen staan parallel. Voor lage frequenties wordt de totale impedantie van de kring bepaald door de lage impedantie van de spoel. Voor hoge frequenties wordt de totale impedantie bepaald door de lage frequentie van de condensator. Er moet dus ergens een frequentie zijn waarbij de impedanties X_c en X_l aan elkaar gelijk zijn en waarbij de totale impedantie van de kring maximaal is.
De waarde van deze resonantiefrequentie wordt gegeven door de uitdrukking:
$\mathbf{f_r = 0{,}159/\sqrt{L.C}}$

Als men een dergelijke kring als belastingsimpedantie in een versterker opneemt, dan zal deze versterker alle signalen met een frequentie die ongeveer gelijk is aan f_r maximaal versterken. Op deze manier kan men een radio-ontvanger afstemmen op de draaggolffrequentie van een bepaalde zender.

Uiteraard zit men met het probleem dat de afgestemde versterkers een bepaalde bandbreedte moeten hebben om ook de zijbanden van de gemoduleerde signalen goed te versterken. In de meeste gevallen zal het eenvoudige schema van figuur 5/2.1.1-10 een te smalle bandbreedte hebben. Vandaar dat men in de praktijk uitgebreidere afgestemde kringen toepast, die wel een voldoende grote bandbreedte hebben.

In de praktijk zal men bovendien geen gebruik maken van enkelvoudige afgestemde kringen in de collector van een versterkertrap, maar van zogenaamde gekoppelde kringen. Bij deze gekoppelde kringen staat er tussen twee trappen van

de schakeling, zie figuur 5/2.1.1-11, een inductief gekoppeld netwerk. Dat netwerk is samengesteld uit twee condensatoren en twee gekoppelde spoelen.
Ook deze inductief gekoppelde netwerken hebben een resonantiefrequente en een bepaalde doorlaatband. Door het variëren van de waarde van de onderdelen (bijvoorbeeld het verdraaien van de kernen van de spoelen) kan men zowel de resonantiefrequentie als de bandbreedte op de noodzakelijke waarden instellen.



Figuur 5/2.1.1-11: Het principe van inductief gekoppelde versterkertrappen.

Van deze gekoppelde versterkertrappen wordt in de radiotechniek veelvuldig gebruik gemaakt. Wél zijn tegenwoordig de LC-kringen vervangen door ceramische filters, maar dat doet niets af aan de theoretische werking. Een dergelijk filter kan namelijk voorgesteld worden door een LC-netwerk.

5/2.1.2
Radio-ontvangers

Inleiding

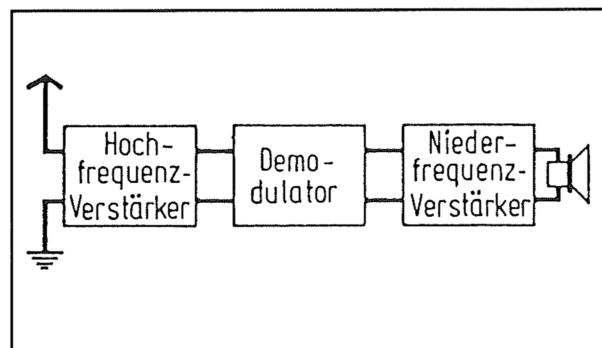
Radio-ontvangers bestaan steeds uit minstens drie trappen:
- een afgestemde versterker;
- een demodulator;
- een audioversterker.

De afgestemde versterker selecteert de draaggolf plus zijbanden van het zendersignaal. De demodulator haalt uit deze hoogfrequente informatie het modulatiesignaal. De audioversterker versterkt het LF-signaal.

Maar in de loop der jaren zijn diverse variaties op dit thema ontwikkeld, ieder met eigen specifieke voor- en nadelen. Toch kunnen al deze variaties ondergebracht worden in twee grote principiële groepen:
- de rechtuit ontvanger;
- de superheterodyne ontvanger.

De rechtuit ontvanger

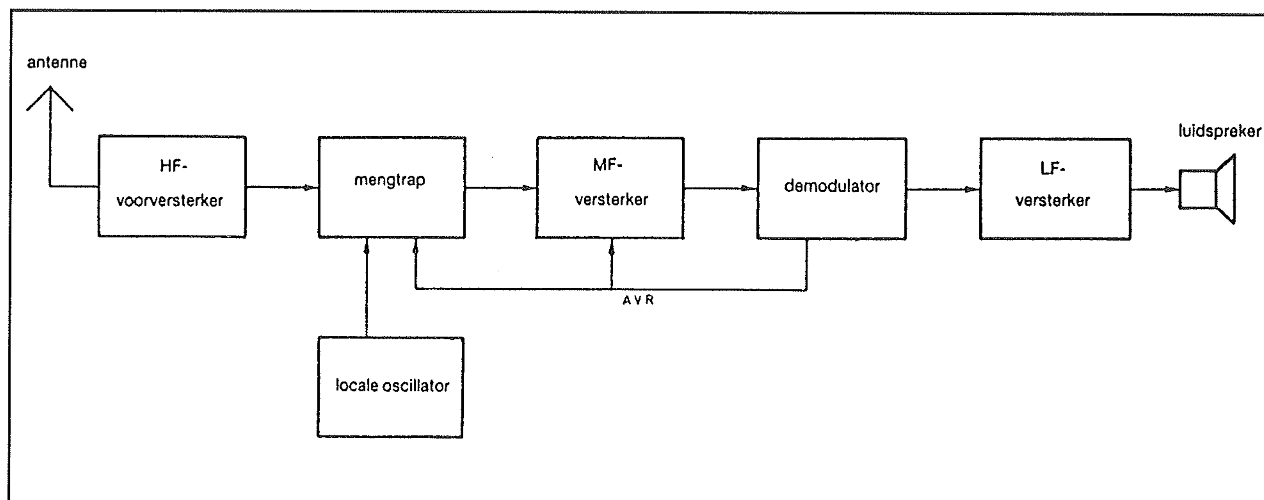
Bij een rechtuit ontvanger worden de drie hoofdgroepen wel erg letterlijk ingevuld. De radio-ontvanger bestaat, zie het blokschema van figuur 5/2.1.2-1, inderdaad uit niets meer dan deze drie blokken.



Figuur 5/2.1.2-1: Het blokschema van een rechtuit ontvanger.

Rechtuit ontvangers worden tegenwoordig niet meer gemaakt. Het grote probleem van deze ontvangers is namelijk dat alle trappen waaruit de hoogfrequent versterker is samengesteld synchroon moeten worden afgestemd op de frequentie van de draaggolf van de ontvangen zender.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.2-2: Het blokschema van een heterodyne ontvanger.

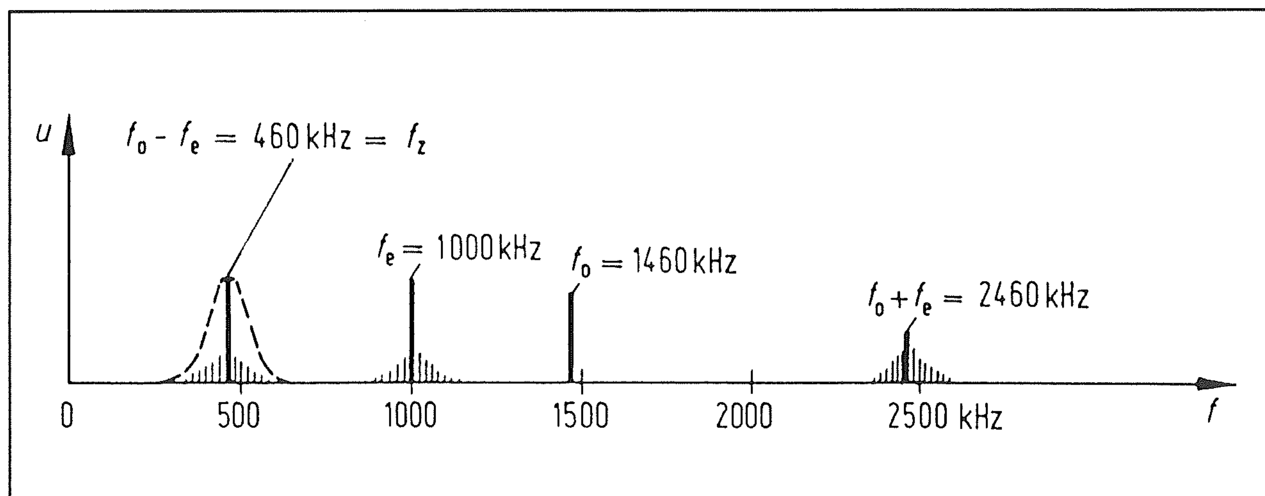
Dat stelt grote eisen aan de manier waarop deze afstemming wordt gerealiseerd. Eisen waaraan op dit moment wel met enige moeite zou kunnen worden voldaan, maar die net zo goed en veel eenvoudiger volgens het heterodyne principe te vervullen zijn.

De heterodyne ontvanger
Alle moderne AM- en FM-ontvangers werken volgens het heterodyne principe. Het blokschema van een heterodyne ontvanger is getekend in figuur 5/2.1.2-2.

Het antenne-signaal wordt aangeboden aan de ingang van een hoogfrequent versterker, die afstembaar is op de frequentie van het zendersignaal.
Na deze versterking gaat het reeds geselecteerde zendersignaal naar één ingang van een menger. De tweede ingang van de menger wordt gestuurd met het uitgangssignaal van de zogenaamde locale oscillator.
Dat is een sinusoscillator die ingesteld wordt op een bepaalde frequentie. De afstemming van de HF-voorversterker en de locale oscillator gebeurt met één bedieningselement. Tussen de afstemfrequentie van de HF-versterker en de frequentie van de locale oscillator bestaat een bepaalde relatie. Het frequentieverschil wordt namelijk constant gehouden op een bepaalde waarde.

Bij het mengen van twee sinusvormige signalen ontstaan er een heleboel mengsignalen met verschillende frequenties. Een daarvan is de verschilfrequentie, die men de middenfrequentie noemt. Dit mengproces wordt voorgesteld in figuur 5/2.1.2-3.
In dit voorbeeld wordt de HF-trap afgestemd op een zender met een frequentie f_e van 1.000 kHz.
De locale oscillator staat ingesteld op een frequentie f_o van 1.460 kHz. Het signaal f_z met de verschilfrequentie heeft dus een frequentie van 460 kHz.
In het frequentiespectrum zijn ook alle zijbanden ingetekend, die door het mengen van de signalen ontstaan. Duidelijk blijkt dat de zijbanden van het zendersignaal terug te vinden zijn rond het signaal met frequentie gelijk aan f_z! Door dit mengen en door het verlagen van de zenderfrequentie gaat dus de informatie in de zijbanden niet verloren!

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.2-3: De signalen die uit het mengproces tevoorschijn komen.

Zoals uit het frequentiespectrum blijkt, heeft het signaal f_z een frequentie die ver uit de buurt ligt van de overige mengproducten. Dit signaal kan nu met een op 460 kHz afgestemde versterker verder verwerkt worden. De doorlaatkarakteristiek van deze versterker is gestippeld getekend rond het signaal f_z. De bandbreedte van deze versterker moet zo groot zijn dat de zijbanden mee versterkt worden.

Door de koppeling bij het afstemmen tussen locale oscillator en HF-voorversterker zal f_z constant zijn en dus volledig onafhankelijk van de zenderfrequentie.

Dit middenfrequent signaal met constante frequentie wordt nu verder versterkt in de MF-versterker. Afhankelijk van de kwaliteit van het apparaat zal deze versterker uit één of verschillende in cascade geschakelde trappen bestaan. Omdat de menger ook signalen levert met andere frequenties is het absoluut noodzakelijk dat de MF-versterker afgestemd is op de frequentie van het MF-signaal. Op deze manier wordt alleen dit signaal versterkt en alle overigen onderdrukt.

Na de MF-versterker volgt de demodulator, die de laagfrequente informatie uit het MF-signaal afleidt, eventueel de stereo-decoder en de LF-versterker.

In de meeste gevallen is de versterkingsfactor van de MF-versterker voor AM niet constant, maar afhankelijk van de grootte van het ontvangen zendersignaal. Voor dit systeem van automatische versterkingsregeling, AVR genoemd, wordt gebruik gemaakt van een stuursignaal dat uit de demodulator wordt afgeleid. Dank zij dit automatische regelsysteem zal het signaal op de uitgang van de MF-versterker in grote mate onafhankelijk zijn van de veldsterkte van het ontvangen zendersignaal. Zwakke zenders worden dus even sterk ontvangen als sterke zenders!

De middenfrequentie bij het heterodyne principe

De middenfrequentie van een heterodyne ontvanger heeft een constante waarde. Het gevolg hiervan is dat de selectieve MF-trappen eenmalig afgeregeld kunnen worden op het versterken van deze middenfrequentie.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

De waarde van de middenfrequentie is min of meer gestandaardiseerd. Voor AM-ontvangers wordt meestal 460 kHz gebruikt, hoewel men soms afwijkende getallen aantreft.
De MF van een FM-ontvanger is gestandaardiseerd op 10,7 MHz. Hoewel, bij moderne FM-ontvanger IC's wordt vaak door middel van een tweede mengtrap naar een veel lagere frequentie terug geschakeld!
Die frequenties van 460 kHz en 10,7 MHz zijn niet willekeurig gekozen. Dat zijn namelijk twee frequenties die niet in het zenderverkeer gebruikt worden en die niet in de ruimte om ons heen aanwezig zijn. Er bestaat dus geen kans dat de MF-versterkers van radio's worden gestoord door rechtstreekse instraling van HF-signalen met deze frequenties.

Voor- en nadelen van het heterodyne principe

Het grote voordeel van een heterodyne ontvanger is dat alleen de HF-versterker en de locale oscillator gezamenlijk moeten worden afgestemd.
De voordelen van het heterodyne principe kan men als volgt samenvatten:
- eenvoudige opbouw;
- hoge versterking mogelijk in de MF-trappen;
- goede selectiviteit;
- goede regeleigenschappen van de AVR.

Als nadeel kan genoemd worden dat in de menger, naast het nuttige MF-signaal, nog een aantal andere signalen ontstaan die men de spiegelfrequentie signalen noemt. Deze kunnen de werking van de MF-versterker verstoren. Deze kunnen echter onderdrukt worden door zeer selectieve MF-trappen te ontwerpen.

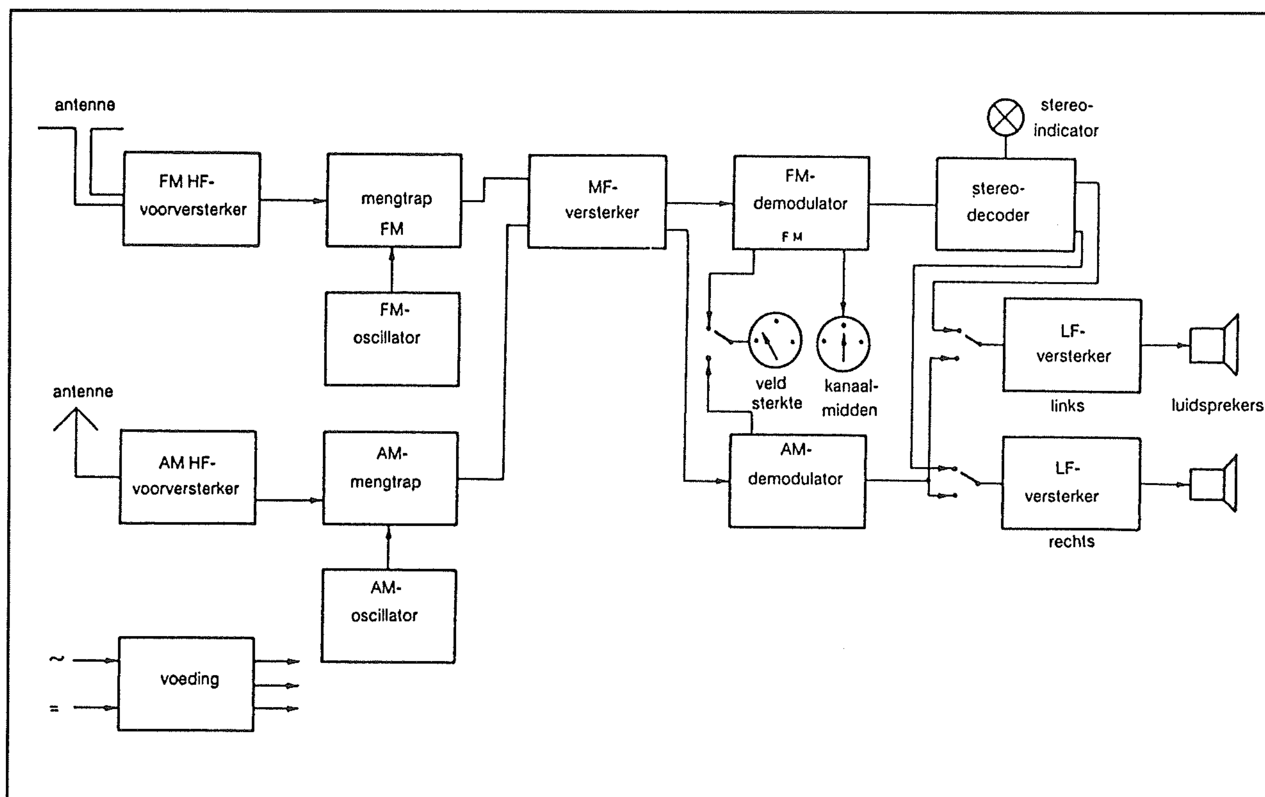
Blokschema van een gecombineerde ontvanger

Het blokschema van een radio-ontvanger die zowel AM- als FM-signalen kan ontvangen is iets ingewikkelder dan het principiële blokschema van figuur 5/2.1.2-2.
Dit blokschema is getekend in figuur 5/2.1.2-4 en wordt nu in het kort besproken.

Het eerste dat opvalt is dat het HF-deel, bestaande uit de HF-voorversterker, locale oscillator en menger, dubbel is uitgevoerd. De frequentiebanden van AM en FM liggen zover uit elkaar dat het onmogelijk is daarvoor dezelfde schakeling toe te passen. Zo is het bijvoorbeeld noodzakelijk deze schakelingen voor FM volledig van de rest van de elektronica af te schermen. Meestal worden deze schakelingen ondergebracht in een blikken module, waar men slechts de aansluitingen voor de antenne, de voeding, de 10,7 MHz uitgang en de afstemspanning op aantreft.

De MF-versterker kan gemeenschappelijk zijn, maar is vaak ook dubbel uitgevoerd. Omdat de FM-signalen meer middenfrequente versterking nodig hebben dan de AM-signalen zal men bij een gemeenschappelijk systeem vaak enige trappen aantreffen, die alleen voor de FM worden ingeschakeld. Bij een gemeenschappelijke MF-versterker worden deze trappen ofwel mechanisch, ofwel elektronisch omgeschakeld van de ene naar de andere frequentie. Vervolgens treft men twee demodulatoren aan, omdat er voor het demoduleren van een AM-signaal heel andere schakelingen nodig zijn dan voor het demoduleren van een FM-signaal.
Het gedemoduleerde FM-signaal wordt aangeboden aan de stereo-decoder en stuurt nadien de twee eindversterkers.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.2-4: Het blokschema van een gecombineerde radio-ontvanger.

5/2.1.3
De antenne koppeling

Inleiding

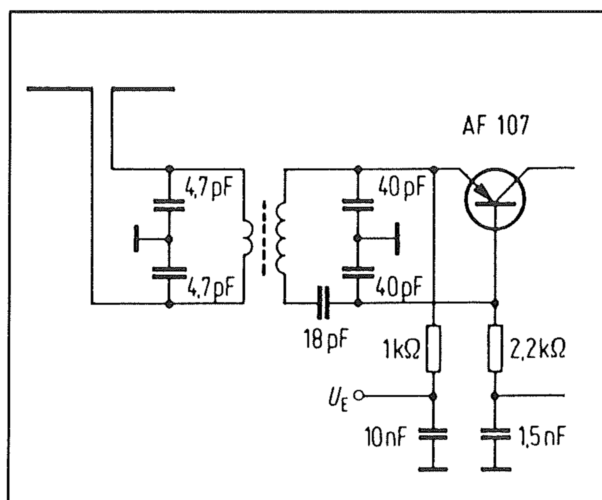
De antenne van een radio-ontvanger pikt de elektromagnetische straling op uit de ruimte en zet deze om in zeer kleine spanningen. De grootte van deze spanningen bedraagt meestal slechts enige µV! Het zal dus duidelijk zijn dat aan de koppeling van de antenne aan de elektronica van de radio-ontvanger hoge eisen worden gesteld.
Het probleem is echter dat hiervoor geen standaard oplossing is te geven. Een autoradio heeft immers per definitie een heel ander soort antenne dan een HiFi-apparaat in de woonkamer! En eenzelfde groot verschil bestaat tussen een autoradio en een walkman, die met een ingebouwde ferrietantenne werkt.
Voor ieder soort radio-ontvanger moet men dus een specifieke oplossing verzinnen voor het met maximaal rendement koppelen van de antenne aan de ontvanger.

FM-ontvangers met dipool antenne

De meeste FM-ontvangers voor stationaire opstelling in de woonkamer zijn voorzien van een symmetrische antenne-ingang met een impedantie van 240 Ω en een asymmetrische ingang met een impedantie van 60 Ω.
Met deze laatste moet men verder geen rekening houden, want het eerste dat men doet is deze asymmetrische ingang door middel van enige condensatoren en spoeltjes omzetten in een symmetrische ingang!

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

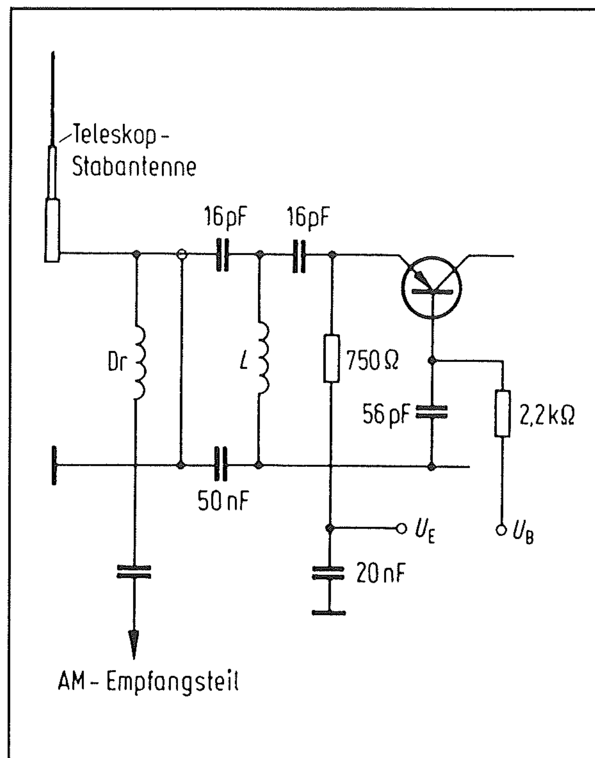
Het basisschema van de aankoppeling van een symmetrische FM-antenne aan de eerste versterkertrap is getekend in figuur 5/2.1.3-1.



Figuur 5/2.1.3-1: De koppeling tussen een symmetrische FM-antenne en de radio-ontvanger.

De twee symmetrische antenneleidingen worden naar een zeer breedbandig LC-netwerk gevoerd.
Dit netwerk wordt afgestemd in het midden van het FM-bereik, hetgeen als voordeel heeft dat alle signalen die buiten de FM-band vallen behoorlijk verzwakt worden.
Het breedbandige bandfilter stuurt de basis-emitter junctie van een HF-transistor, die de eerste trap vormt van de HF-versterker.

FM-ontvangers met staafantenne
Een staafantenne is per definitie een asymmetrisch onderdeel. Vandaar dat het noodzakelijk is de antennekring asymmetrisch op te bouwen.
Een typische schakeling is getekend in figuur 5/2.1.3-2.



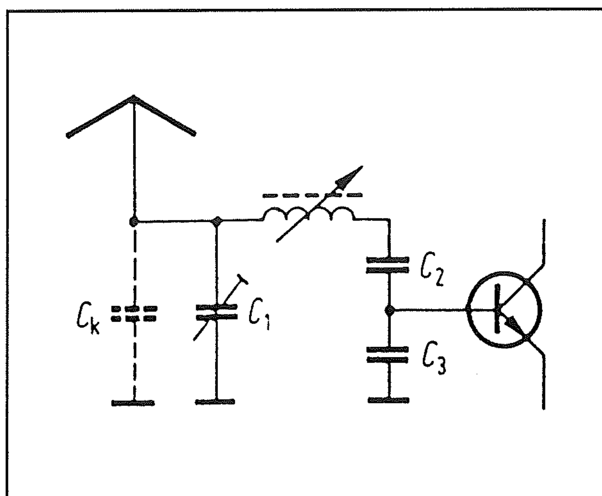
Figuur 5/2.1.3-2: De koppeling tussen een staafantenne en de elektronica.

De antennespanning wordt capacitief naar de emitter van de eerste transistor gevoerd. De basis van dit onderdeel ligt via een condensator aan de massa, zodat men kan besluiten dat de trap met geaarde basis werkt. In de meeste gevallen zal de staafantenne ook gebruikt worden voor de AM-ontvangst. Het antennesignaal gaat via een smoorspoeltje Dr naar de eerste trap van de AM-versterker. Deze spoel heeft tot taak stoorpulsen zo veel mogelijk te onderdrukken. Zoals reeds bekend een belangrijke eis voor kwalitatief hoogwaardige AM-ontvangst!

Autoradio's
Bij autoradio's heeft men te maken met een heel ander probleem. Om zware storing door de ontsteking te voorkomen wordt de auto-antenne via een afge-

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

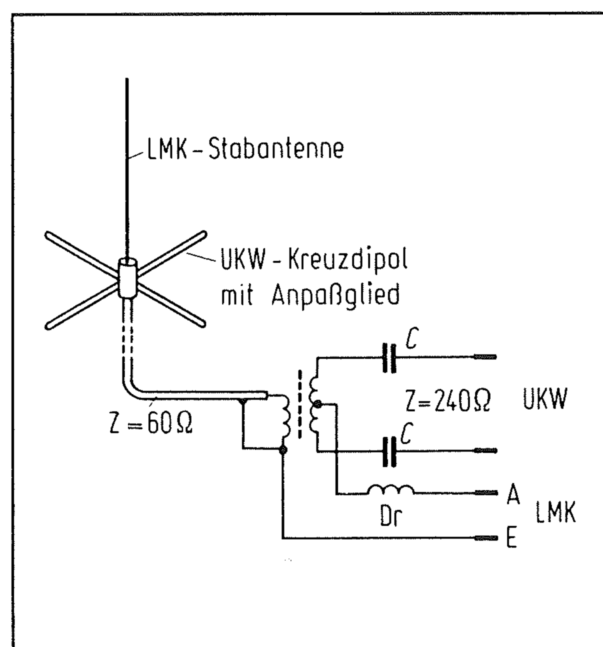
schermde kabel met de eveneens afgeschermde radio verbonden. Deze koppeling is dus per definitie asymmetrisch, maar is ook zeer capacitief. Een afgeschermde kabel heeft immers een tamelijk grote paracitaire capaciteit naar de massa! Zou men geen speciale maatregelen treffen, dan zou het grootste deel van het door de antenne opgevangen signaal (en dat is al zo klein!) via deze paracitaire capaciteit worden kortgesloten naar de massa.



Figuur 5/2.1.3-3: De koppeling van een autoantenne.

Dit probleem kan volgens figuur 5/2.1.3-3 opgelost worden door de kabelcapaciteit C_k op te nemen in een afgestemde kring. Deze kring is opgebouwd uit de onderdelen C_k, C1, C2, C3 en de afstembare spoel. Door de condensator C1 als trimmer uit te voeren kan men de verschillen tussen de diverse kabelcapaciteiten compenseren. In feite komt het er op neer dat men met deze condensator in staat is de ingangskring af te regelen op het soort autoantenne dat gebruikt wordt. Men zal deze kleine trimmer dan ook bij iedere autoradio aantreffen en het verdraaien van deze trimmer kan vaak tot opmerkelijke ontvangstverbetering voeren!

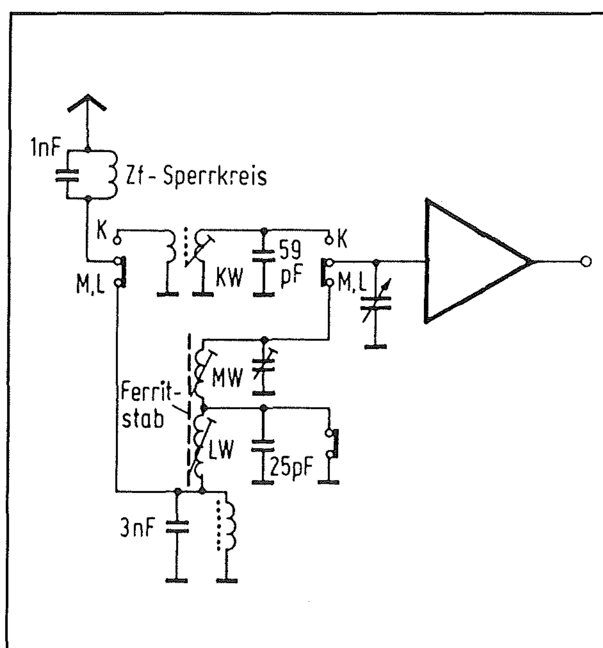
Gecombineerde antenne
Vaak zal men een voorziening aantreffen voor het aansluiten van een gecombineerde antenne. Deze antenne bestaat, zie figuur 5/2.1.3-4, uit een staafantenne voor AM en een kleine dubbele dipool voor FM.



Figuur 5/2.1.3-4: Het aansluiten van een gecombineerde AM/FM-antenne.

Deze gecombineerde antenne gaat via een kabel met een impedantie van 60 Ω naar de ontvanger. In de ontvanger wordt dit asymmetrische signaal door middel van een breedbandige HF-trafo omgezet in een symmetrisch signaal. De centrale aansluiting van de secundaire wikkeling gaat via een smoorspoel naar de ingang van de voorversterker voor AM. De twee uiteinden van de trafo gaan via scheidingscondensatoren naar de symmetrische ingang van de FM-voorversterker.

Ferrietantennes
De meeste draagbare radio-ontvangers zijn uitgerust met een ferrietantenne voor de ontvangst van de AM-banden. Op de ferrietstaaf is een aantal spoelen aangebracht, die het magnetische veld dat in de ferrietstaaf ontstaat omzetten in een wisselspanning. Deze spoelen maken deel uit van de ingangsfilters, die afgestemd worden in het midden van de midden en lange golf banden. Een typisch voorbeeld van een ferriet koppeling is getekend in figuur 5/2.1.3-5.



Figuur 5/2.1.3-5: Een schakeling waarmee een ferrietantenne in de afgestemde ingangskringen van een AM-ontvanger wordt opgenomen.

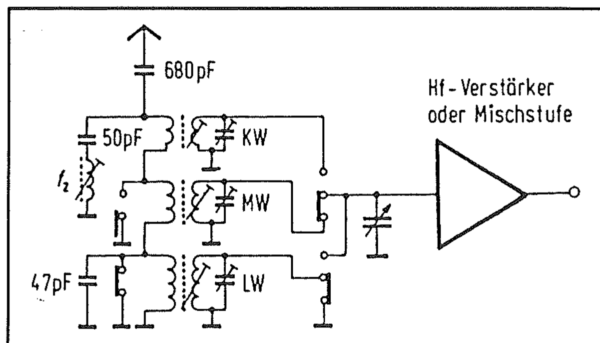
Voor de korte golf staat een externe staafantenne te beschikking. De ferrietstaaf wordt via de condensator van 3 nF opgenomen in het voetpunt van een afgestemde kring. De staaf bevat twee wikkelingen, een voor de midden golf en een voor de lange golf. Bij midden golf ontvangst wordt de spoel voor de lange golf kortgesloten door middel van een schakelaar. Dat kan alleen zonder nadelige invloeden gebeuren als de twee spoelen een flinke afstand uit elkaar liggen! Zou dat niet het geval zijn, dan zou de kortgesloten LG-spoel een onacceptabele demping uitoefenen op de MG-spoel.

5/2.1.4
De HF-voorversterker

Inleiding
De HF-voorversterker heeft tot voornaamste taak het signaal van de antenne te versterken en eventueel al een zender uit het totale aanbod aan informatie te selecteren.
Maar daarnaast heeft deze schakeling nog enige andere functies. Een van de voornaamste nevenfuncties is het scheiden van de antenne van de locale oscillator, zodat laatstgenoemde schakeling niet als zender kan gaan werken en zijn signaal via de antenne de ruimte in kan slingeren.

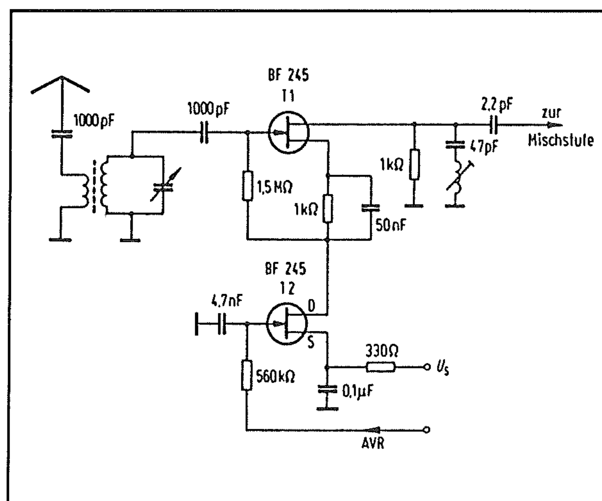
De HF-voorversterker voor AM
Bij de AM-sectie wordt vrijwel steeds een afgestemde versterker gebruikt. Dat betekent dat er heel wat schakelwerk aan te pas komt, omdat de afstemkringen van deze versterker uiteraard moet worden omgeschakeld als men wil omschakelen van band.
In figuur 5/2.1.4-1 is een voorbeeld gegeven van een HF-voorversterker voor AM met drie omschakelbare banden en met externe antenne-aansluiting. De schakeling bestaat uit drie afzonderlijke afgestemde LC-kringen, die voor de eigenlijke HF-versterker zijn opgenomen.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.4-1: Schema van een HF-voorversterker voor AM met externe antenne.

De kringen worden afgestemd met drie regelbare condensatoren, die op één as zijn gemonteerd. Bij selecteren van de korte golf band worden de twee antennespoelen voor midden en lange golf kortgesloten. Bij selectie van de midden golf blijft de kortsluiting over de lange golf kring bestaan.



Figuur 5/2.1.4-2: HF-voorversterker voor AM met twee FET's en automatische versterkingsregeling.

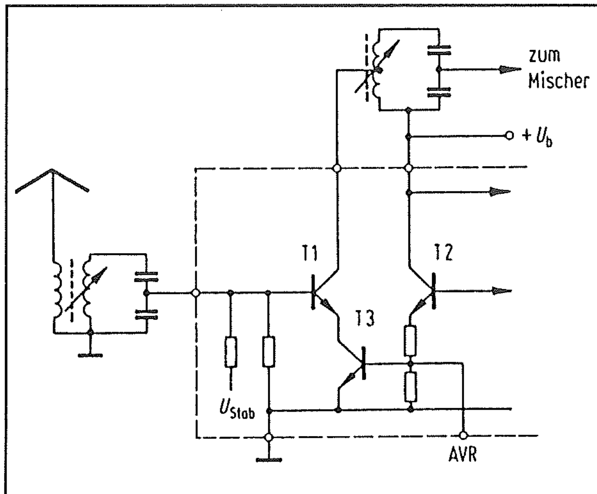
Hoewel het tegenwoordig mogelijk is speciale geïntegreerde HF-versterkers toe te passen zal men toch nog vaak discreet opgebouwde schakelingen aantreffen. In figuur 5/2.1.4-2 wordt als voorbeeld een kwalitatief hoogwaardige HF-voorversterker voor de AM-bereiken geschetst. Voor de eenvoud van het schema is dit alleen getekend voor één bepaalde band. De schakeling bestaat uit twee in cascade geschakelde FET-trappen, waarvan de onderste wordt gebruikt voor het regelen van de versterking van de bovenste trap. Door de AVR ook op de HF-voorversterker in te laten werken wordt voorkomen dat deze trap wordt overstuurd, waardoor harmonischen zouden kunnen ontstaan die tot kruismodulatie in de mengtrap aanleiding kunnen geven.

In figuur 5/2.1.4-3 wordt het schema gegeven van een HF-voorversterker met een geïntegreerde schakeling. In de meeste IC's voor dit soort toepassingen wordt gebruik gemaakt van verschilversterkers. De afstemkring wordt capacitief aan de basis van de eerste verschiltransistor aangeboden. Het signaal wordt capacitief van de collector van de tweede trap afgenomen en gaat naar de menger. Ook deze koppeling gaat via een afgestemde kring, hetgeen tot gevolg heeft dat de schakeling een goede spiegelonderdrukking heeft.

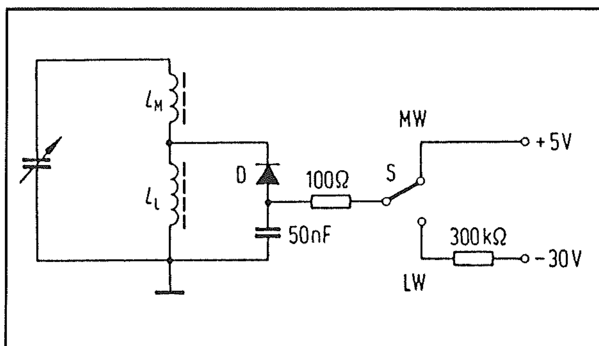
De derde transistor T3 wordt gestuurd uit het AVR-signaal. Deze trap werkt als variabele emitterweerstand en werkt dus als tegenkoppeling waardoor bij grote ingangssignalen de versterking kleiner wordt.
De instelling van de verschilversterker wordt van de interne bias-voorziening betrokken.

Band-omschakelen met dioden
In moderne ontvangers zal men het omschakelen van de ene AM-band naar de

andere niet met behulp van schakelaars uitvoeren, maar met dioden. Het principe van een dergelijk systeem is geschetst in figuur 5/2.1.4-4.



Figuur 5/2.1.4-3: Een geïntegreerde HF-voorversterker voor AM.



Figuur 5/2.1.4-4: Het omschakelen van de ene naar de andere AM-band met behulp van een schakeldiode.

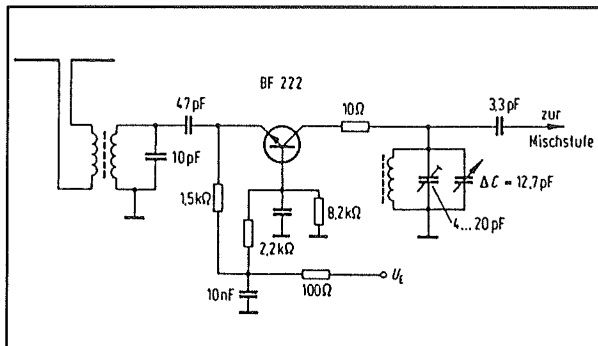
De schakeldiode D staat via de condensator van 50 nF parallel geschakeld aan de lange golf spoel L_L. Bij het afstemmen op de midden golf wordt de anode van de diode via de voorschakelweerstand van 100 Ω op een spanning van +5 V aangesloten. De kathode ligt via de laagohmige spoel aan de massa. De diode gaat dus geleiden en de forse diodestroom zorgt ervoor dat de inwendige weerstand van de diode zeer laag wordt. De diode sluit dus de lange golf spoel kort over de condensator van 50 nF. Bij het omschakelen van de schakelaar wordt de anode van de diode verbonden met een zeer hoge negatieve spanning van -30 V. De diode gaat sperren, haar inwendige weerstand wordt zeer groot en de lange golf spoel wordt in de schakeling van de afgestemde kring opgenomen.
De serieweerstand van 300 kΩ zorgt ervoor dat de afgestemde kring niet laagohmig belast wordt door de zeer lage impedantie van de voeding.

HF-voorversterker voor FM
BIj FM-ontvangers zal de schakeling van de HF-voorversterker vaak zo breedbandig zijn, dat alle frequenties uit de volledige band even veel versterkt worden. Dat is een rechtstreeks gevolg van het feit dat de antennekoppeling bij dergelijke hoge frequenties de afstemming van een selectieve versterker erg kan beïnvloeden. De werking van de schakeling zou dan te zeer afhankelijk worden van de manier waarop de antennekabel wel of niet op de schakeling is aangepast.

Past men toch een afgestemde versterker toe, dan zullen de afgestemde kringen alleen opgenomen worden in de uitgangskringen van de voorversterker, zodat de invloed van de antennekoppeling op de schakeling geminimaliseerd wordt. In figuur 5/2.1.4-5 is een dergelijke schakeling getekend.
De antenne wordt inductief gekoppeld met de emitter van de transistor. Alle schakelingen zullen gebruik maken van een transistortrap, geschakeld in geaarde basisschakeling.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

Het signaal wordt dus ingekoppeld in de emitterkring, die veel laagimpedanter kan zijn dan de gemiddelde basiskring en dus veel beter aangepast kan worden aan de lage impedantie van de antenne en antennekabel.



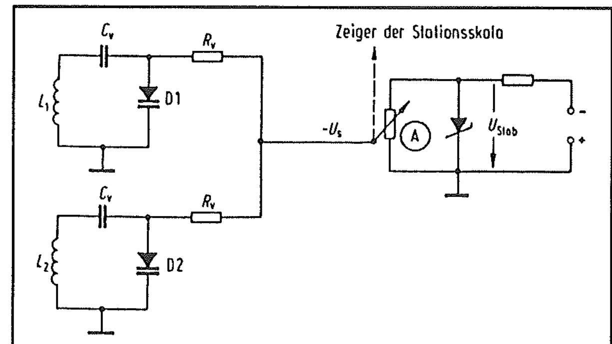
Figuur 5/2.1.4-5: Een HF-voorversterker voor FM met afgestemde kring in de collectorlijn.

De afgestemde kring is opgenomen als collectorbelasting en wordt in dit geval afgestemd door middel van een condensator.

Vanwege de zeer hoge frequenties die in het spel zijn zal men maar weinig schakelingen aantreffen die zij uitgerust met geïntegreerde schakelingen.

Het afstemmen met behulp van varicap-dioden

In de meeste moderne radio-ontvangers wordt volledig elektronisch op de zender afgestemd. De ouderwetse, grote en dure schakelingen met regelbare spoelen of regelbare condensatoren zijn vervangen door systemen waarbij varicap-dioden alle af te stemmen kringen synchroon beïnvloeden. Het basisprincipe van een varicap afstemming is getekend in figuur 5/2.1.4-6.



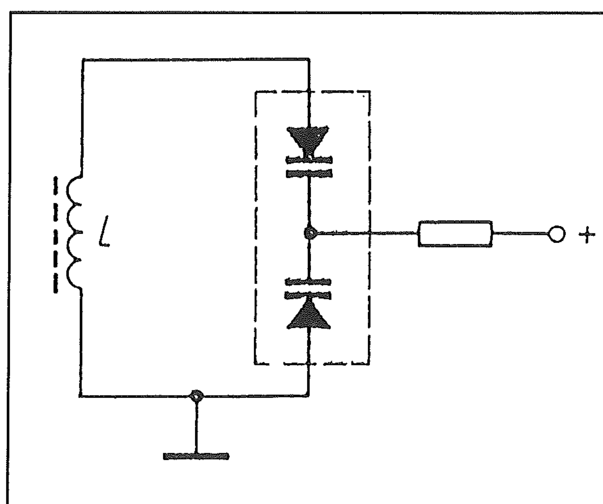
Figuur 5/2.1.4-6: Het afstemmen van een HF-versterker door middel van varicap-dioden.

Uit een vrij hoge voedingsspanning (ongeveer 50 V) wordt een zeer stabiele spanning van ongeveer -30 V afgeleid. Over de referentiediode is een potentiometer geschakeld. De loper van deze potentiometer wordt via hoogohmige weerstanden R_V verbonden met de anodes van de varicap-dioden. De weerstanden zorgen voor een goede ontkoppeling tussen de verschillende kringen onderling en verhinderen dat de kringen worden belast door de vrij lage impedantie van de stuurspanning. De dioden worden dus in sper gestuurd, hetgeen noodzakelijk is omdat immers de spercapaciteit van de dioden wordt gebruikt om de kringen af te stemmen. Bij varicap-dioden is deze spercapaciteit in hoge mate afhankelijk van de grootte van de sperspanning tussen anode en kathode.

Om te verhinderen dat de stuurspanning via de zeer lage gelijkstroomweerstanden van de spoelen afvloeit naar de massa, moeten de varicap-dioden steeds via een seriecondensator over de spoel geschakeld worden. Deze condensatoren hebben een hoge waarde, zodat zij in feite te verwaarlozen zijn ten opzichte van de veel en veel lagere waarde van de spercapaciteit van de varicap's. Bij serieschakeling

van condensatoren wordt immers de vervangingswaarde bepaald door de kleinste condensator!

Het afstemmen met één varicap per afgestemde kring heeft een groot nadeel. In de afgestemde kringen ontstaan vrij hoge hoogfrequente wisselspanningen, die ook over de varicap komen te staan. Deze wisselspanningen moduleren de stuurspanning van de varicap's zodat de spercapaciteit gemoduleerd gaat worden! Met als rechtstreeks gevolg dat de afstemfrequentie gaat variëren op het ritme van de momentele waarde van de HF-spanning! Dat probleem kan voorkomen worden door de amplitude van de HF-spanningen die over de varicap's kunnen ontstaan kunstmatig te beperken tot ongeveer 80 mV. Maar dit heeft weer andere nadelen. Vandaar dat in zeer goede ontvangers per afgestemde kring twee varicap's worden toegepast. Het principeschema van een dergelijke oplossing is getekend in figuur 5/2.1.4-7.



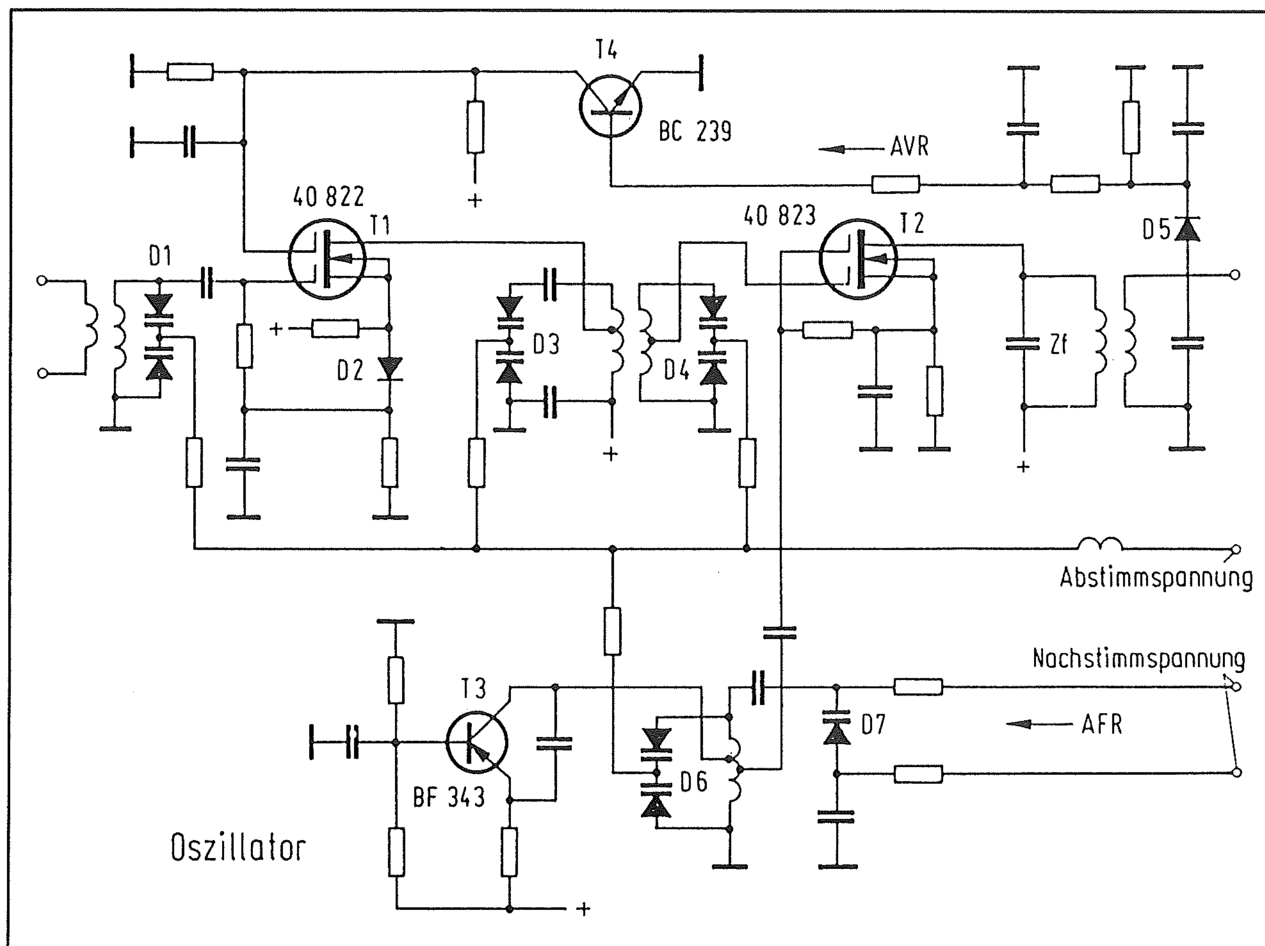
Figuur 5/2.1.4-7: Het afstemmen van een afgestemde kring door middel van twee in serie geschakelde varicap's.

Doordat de twee varicap's in anti-serie zijn geschakeld zullen de HF-signalen tegengesteld invloeden op beide dioden uitoefenen, zodat de twee effecten elkaar opheffen en de genoemde nadelen niet ontstaan.

In figuur 5/2.1.4-8 is het volledige schema getekend van een afstemmodule voor FM, waarbij van dit principe gebruik wordt gemaakt.

De afstemming wordt verzorgd door de dubbele varicap's D1, D3, D4 en D6. De schakeling werkt met een afgestemde antenne-kring (uitzonderingen bevestigen de regel!) en een uitgebreid bandfilter tussen de HF-voorversterker en de mengtrap.
De FET T1 met dubbele gate dient als HF-voorversterker. Deze trap wordt op de tweede gate gestuurd vanuit een locale AVR, zodat te sterke zendersignalen worden verzwakt. De regelspanning voor de locale AVR wordt opgewekt door de MF-uitgangsspanning gelijk te richten met de diode D5 en te versterken met de transistor T4.
De spanning op de tweede gate van de MOSFET heeft invloed op de steilheid van de FET-karakteristiek en bepaalt dus de mate van versterking. Transistor T2 is de menger, waarbij de twee te mengen signalen ieder op een gate worden aangeboden. Zoals uit een later subhoofstuk zal volgen, is dit dus een multiplicerende mengtrap.
Transistor T3 is de locale oscillator, die wordt afgestemd met D6. Parallel aan D6 staat echter een vijfde varicap-diode D7, die is opgenomen in de automatische frequentie regeling AFR, die ervoor zorgt dat de schakeling steeds op de juiste frequentie afgestemd blijft.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



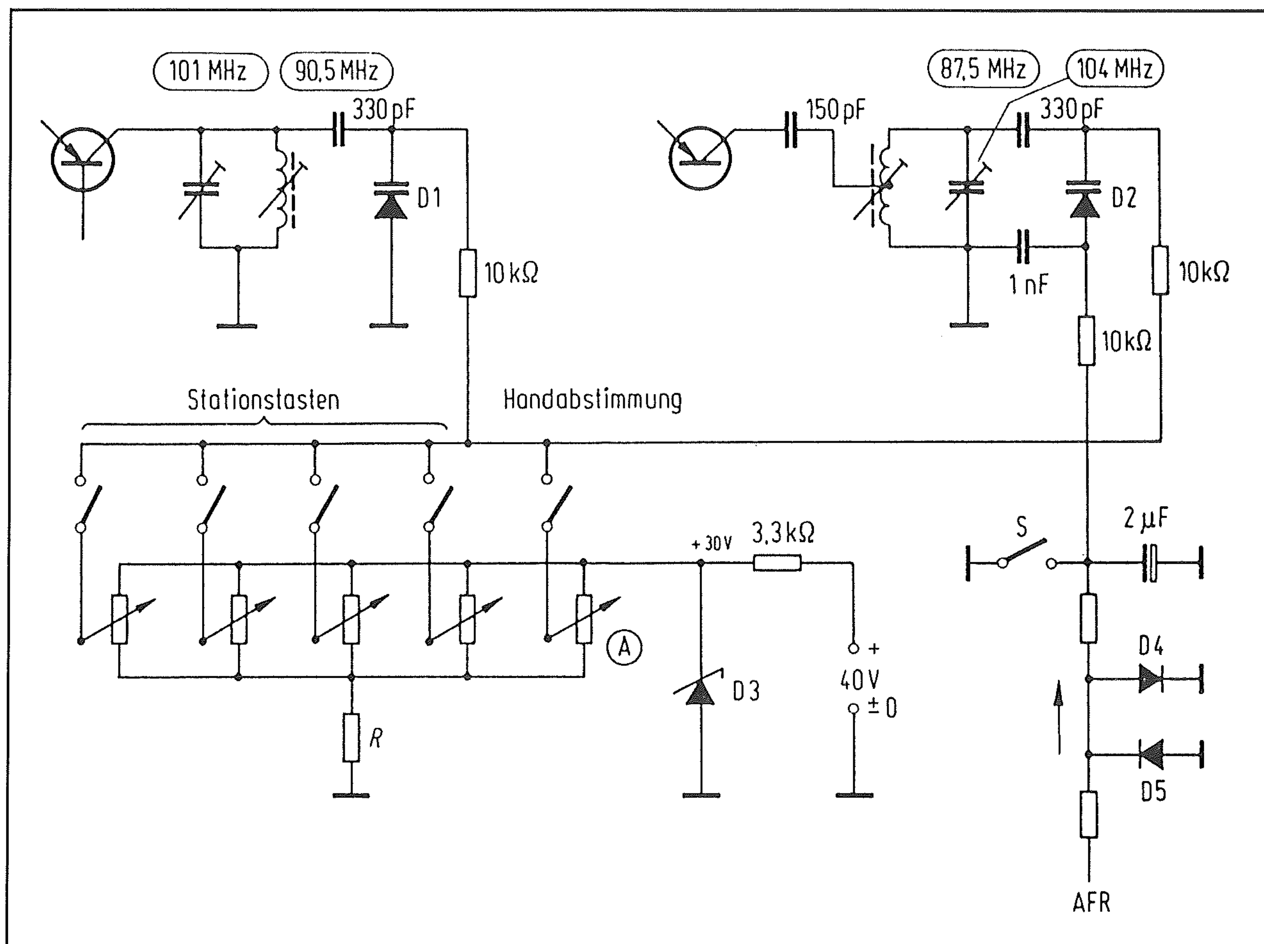
Figuur 5/2.1.4-8: Het volledige schema van een afstemmodule voor FM met varicap-dioden.

Voordelen van varicap-afstemming

Het gebruik van varicap's in de afgestemde HF-kringen van een radio-ontvanger heeft grote voordelen.

- De schakelingen kunnen veel kleiner en goedkoper worden ontworpen.
- Bij de ontvangst van FM-zenders kan men automatische frequentie regeling (AFR) toepassen, zodat temperatuursinvloeden niet tot gevolg hebben dat de ontvanger "van de zender afdwaalt". Bij deze systemen wordt uit de FM-demodulator een stuursignaal afgeleid die een maat is voor de nauwkeurigheid waarop de ontvanger op een zender staat afgestemd. Wijkt de frequentie van de locale oscillator af, dan zal de demodulator een positieve of negatieve stuurspanning genereren, die gebruikt kan worden om de frequentie van de oscillator bij te regelen. Deze techniek wordt bijvoorbeeld toegepast in het reeds besproken schema van figuur 5/2.1.4-8.
- Het gebruik van varicap's laat toe de ontvanger af te stemmen met druktoetsen of tiptoetsen. Het is immers geen probleem om de afstemspanningen voor diverse zenders in te stellen met een aantal potentiometertjes en deze spanningen door middel van schakelaars aan de varicap's aan te bieden. Een dergelijk systeem is getekend in figuur 5/2.1.4-9.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.4-9: Het principe van afstemming met behulp van druktoetsen.

De gestabiliseerde spanning van +30 V wordt aangeboden aan vijf parallel geschakelde afstempotentiometers. De loperspanningen gaan via een vijfstanden schakelaar naar de varicap's in de HF-voorversterker (links) en de locale oscillator (rechts). Dit laatste onderdeel wordt bovendien ook nog eens geregeld door de AFR. Door de regelspanning van de AFR als negatieve spanning aan te bieden op de anode van de varicap en de afstemspanning als positieve spanning op de kathode van de varicap zullen beide spanningen elkaar niet beïnvloeden.

– Varicap's, tot slot, spelen een belangrijke rol bij alle moderne synthesizer afstemsystemen, waarbij zenders op digitale manier worden opgezocht.

5/2.1.5
De locale oscillator

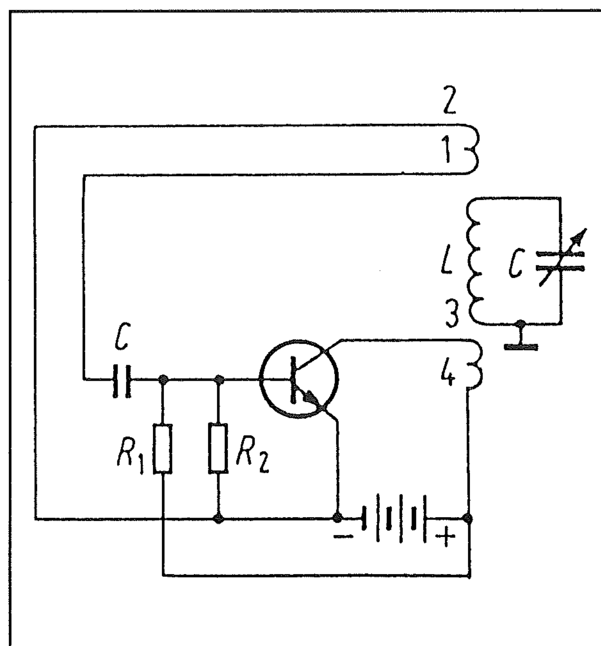
De locale oscillator bij AM

Locale oscillatoren zijn steeds uitgevoerd onder de vorm van LC-oscillatoren. Net zoals bij iedere oscillator moet ook bij een

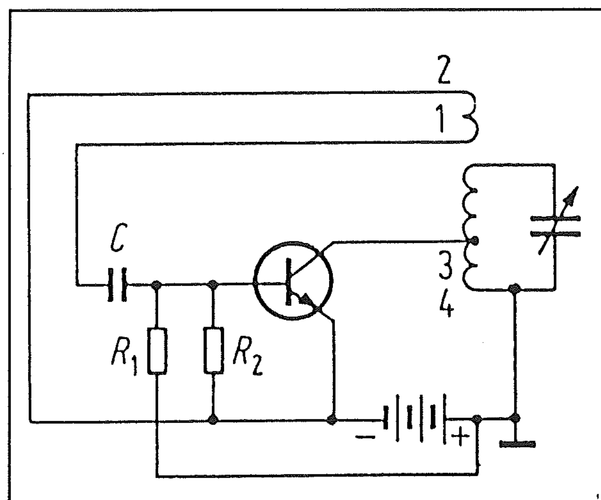
2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

dergelijke oscillator sprake zijn van meekoppeling om aan de algemene oscillatievoorwaarde te voldoen. Deze meekoppeling ontstaat inductief door een terugkoppelspoeltje in de LC-kring op te nemen. Er bestaan verschillende oscillatorschakelingen die in het frequentiebereik van de AM-banden bruikbaar zijn. Deze worden nu in het kort besproken.

- Oscillator met inductieve terugkoppeling
  Zoals uit figuur 5/2.1.5-1 volgt, wordt het oscilleren in stand gehouden door de twee wikkelingen 3/4 en 1/2. De koppelcondensator C in de basiskring is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat de basisinstelling niet via de laagimpedante wikkeling 1/2 afvloeit naar de massa.
  De frequentie van de oscillator wordt bepaald door de kring L/C.
- Oscillator met collector-tap
  In figuur 5/2.1.5-2 is een alternatieve schakeling getekend, waarbij de collector is aangesloten op een aftakking (tap) van de frequentiebepalende spoel.
- Oscillator met emitterkoppeling
  Figuur 5/2.1.5-3 geeft een oscillatorkring, waarbij de meekoppeling in de emitter tot stand komt. De emitterweerstand R3 is noodzakelijk voor de temperatuurstabilisatie van de instelling. Om te verhinderen dat deze weerstand door de lage gelijkstroomweerstand van de spoel 1/2 wordt kortgesloten, is de scheidingscondensator C noodzakelijk. De spoelen 1/2 en 3/4 moeten uiteraard op één kern worden aangebracht.
- Oscillator met driepuntskoppeling
  Tot slot wordt in figuur 5/2.1.5-4 een oscillator getekend, waarbij slechts één spoel wordt gebruikt, voorzien van twee tap's. De twee delen die verantwoordelijk zijn voor de noodzakelijke meekoppeling zijn 1/2 en 1/3. De transistor wordt nu gebruikt in geaarde basisschakeling, zodat het noodzakelijk is de basis op wisselspanningsgebied aan de massa te leggen met condensator C2.

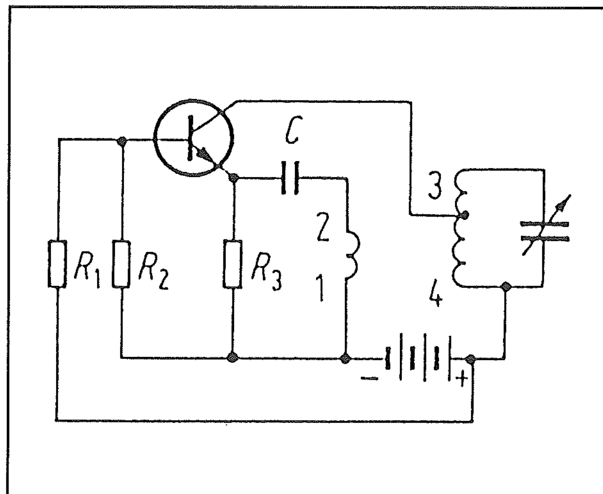


Figuur 5/2.1.5-1: Een oscillator met inductieve koppeling.

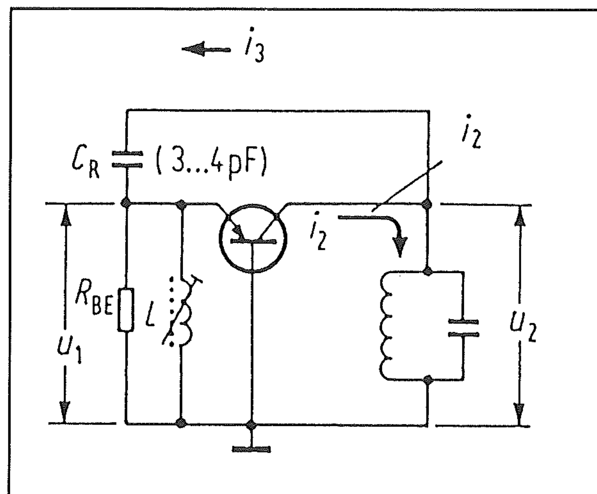


Figuur 5/2.1.5-2: Oscillator-schakeling met collector-tap.

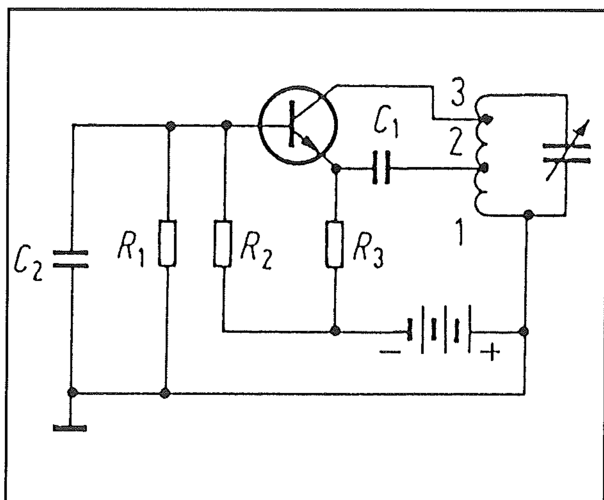
2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.5-3: Oscillator met emitterkoppeling.



Figuur 5/2.1.5-5: Het principeschema van een FM-oscillator in geaarde basisschakeling.



Figuur 5/2.1.5-4: De driepuntskoppeling, waarbij slechts één spoel met drie aftakkingen noodzakelijk is.

De locale oscillator bij FM

BIj de zeer hoge frequenties in de FM-band ontstaat er in een transistor een faseverschuiving tussen de collectorstroom en de basis-emitter spanning. Er moeten speciale schakelingen ontwikkeld worden, die allemaal met geaarde basisschakeling werken. Het basisschema is getekend in figuur 5/2.1.5-5.

De spanning U_1 is de instelspanning van de trap. Deze zorgt voor een collectorstroom i_2. Deze vloeit door de resonantiekring en zal over deze kring een resonantiespanning u_2 genereren. Deze spanning is voor de resonantiefrequentie in fase met de stroom. Een deel van deze spanning wordt capacitief via de kleine condensator C_R teruggekoppeld naar de emitter. Door deze condensator vloeit een stroom i_3, die volledig bepaald wordt door de blindweerstand van de condensator. De impedantie van de condensator is, zelfs voor de hoge frequenties van de UHF-band, immers veel en veel groter dan de weerstand R_{BE}. De stroom i_3 ijlt bijgevolg 90° voor op de spanning u_2. Door deze terugkoppeling wordt de interne faseverschuiving van de transistor gecompenseerd. De naar de emitter teruggekoppelde spanning is weer in fase met de oorspronkelijke spanning U_1, aan de oscillatievoorwaarde wordt voldaan.
Met de kleine spoel L wordt het systeem afgeregeld op een exacte meekoppeling in de praktische frequentieband. Met deze spoel kan men dus de niet precies

bekende faseverschillen in de transistor compenseren.

5/2.1.6 De mengtrap

Inleiding

In de mengtrap worden de signalen van de HF-voorversterker en de locale oscillator met elkaar gemengd. Bij dit mengproces ontstaat een breed frequentiespectrum, maar steeds zal er één signaal aanwezig zijn waarvan de frequentie gelijk is aan het verschil van de beide gemengde signalen. Dit verschilsignaal wordt door middel van afgestemde kringen uit het totale mengsignaal gefilterd.

Er bestaan twee verschillende mengsystemen.

- Bij de additieve of optellende mengers worden beide signalen aan één ingang van de menger aangeboden.
- Bij de multiplicerende of vermenigvuldigende mengers worden beide signalen aan twee verschillende ingangen van de mengtrap aangeboden.

In de moderne ontvangsttechniek worden hoofdzakelijk multiplicerende mengers toegepast. Dat is een rechtstreeks gevolg van het feit dat men er in geslaagd is zeer hoogfrequente geïntegreerde verschilversterkers te ontwerpen, die uitermate geschikt zijn voor dit soort toepassingen.

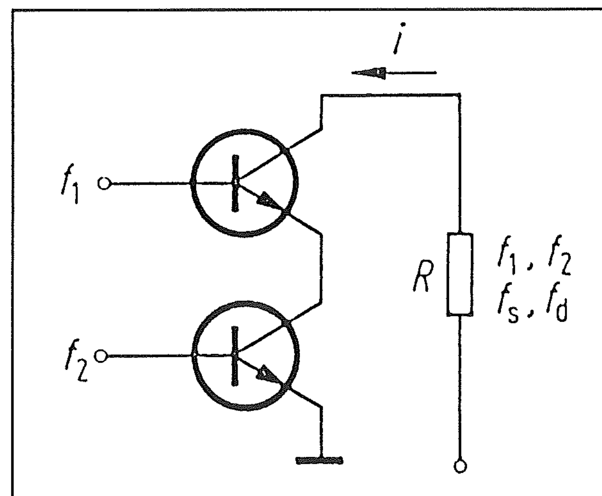
Het principe van multiplicerende menging

Het basisprincipe van multiplicerende menging is getekend in figuur 5/2.1.6-1.

De twee te mengen signalen met frequenties f_1 en f_2 worden aangeboden aan de basissen van twee in cascade geschakelde transistoren. Er zal een collectorstroom i gaan vloeien, waarvan de momentele waarde uiteraard zowel afhankelijk is van het verloop van signaal f_1 als van het verloop van signaal f_2. Over de belastingsweerstand R ontstaat een spanning U, een samengesteld signaal dat delen bevat met de frequenties:

- f_1;
- f_2;
- $f_1 - f_2$;
- $f_1 + f_2$.

Het frequentiespectrum van het gemengde signaal is getekend in figuur 5/2.1.6-2.



Figuur 5/2.1.6-1: Het basisprincipe van multiplicerende menging.

Het is eenvoudig mogelijk het signaal met frequentie ($f_1 - f_2$) uit het totale signaal te filteren door gebruik te maken van een afgestemd filter.

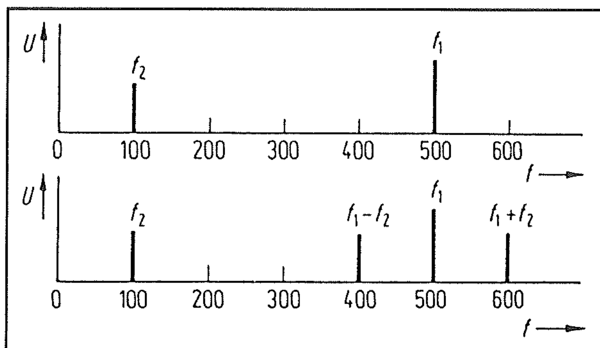
Geïntegreerde mengers

Lang was het blokje "menger" in het blokschema van een radio-ontvanger verboden terrein voor geïntegreerde schakelingen. Men was niet in staat IC's te ontwer-

pen die nog goed werkten in het frequentiegebied van meer dan 100 MHz. Maar tegenwoordig is ook deze technologische barriére overwonnen! In de onderstaande paragraafjes zullen enige voorbeelden van praktische schakelingen met moderne geïntegreerde mengers worden beschreven.

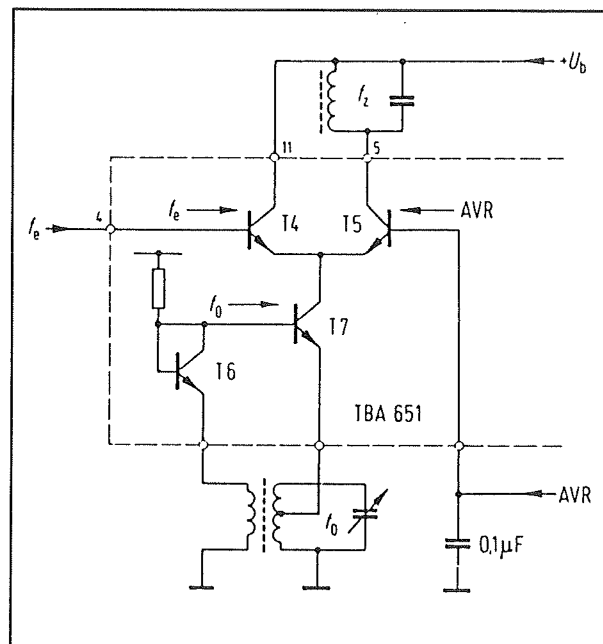
De TBA 651

In figuur 5/2.1.6-3 is een voorbeeld gegeven van een mengtrap die is samengesteld rond een IC van het type TBA 651.



Figuur 5/2.1.6-2: Het frequentiespectrum van het gemengde signaal.

Het signaal van de HF-voorversterker f_e wordt aangeboden aan een ingang van de verschilversterker. De tweede ingang van de verschilversterker wordt gebruikt voor het instellen van de AVR. De gemeenschappelijke emitter transistor T7 wordt gebruikt als locale oscillator. De resonantiekring is opgenomen in de emitterkring van deze transistor. De meekoppeling is inductief uitgevoerd via een tweede spoel, die via de transistor T6, geschakeld als diode, verbonden is met de basis van T7. T6 stabiliseert de instelling van de basisspanning van T7. Het totale mengproduct zit in de collectorstroom van transistor T5. In de collector van deze halfgeleider is een afgestemde kring opgenomen, die wordt afgeregeld op de verschilfrequentie. Het zal duidelijk zijn dat de werking van de locale oscillator niet wordt beïnvloed door de AVR. Deze stuurspanning bepaalt de grootte van de collectorstroom van T5, maar het is een basiseigenschap van een verschilversterker dat de som ven de collectorstromen constant blijft. De stroom die door de collector van T7 vloeit is dus onafhankelijk van de regelspanning van de AVR.



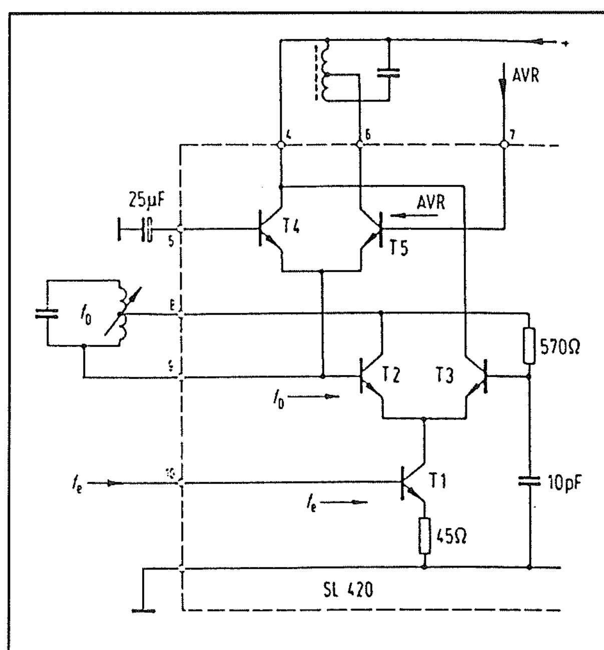
Figuur 5/2.1.6-3: Een geïntegreerde menger rond een TBA 651.

De SL 420

In figuur 5/2.1.6-4 wordt een mengschakeling rond de SL 420 getekend. De mengschakeling is hier opgebouwd rond de transistoren T1, T2 en T3, waarbij T1 als elektronische emitterweerstand voor de verschilversterker T2/T3 dient. De transistor T2 wordt gebruikt als locale oscillator.

De mengstroom vloeit via de spoel van de locale oscillator naar de gemeenschappe-

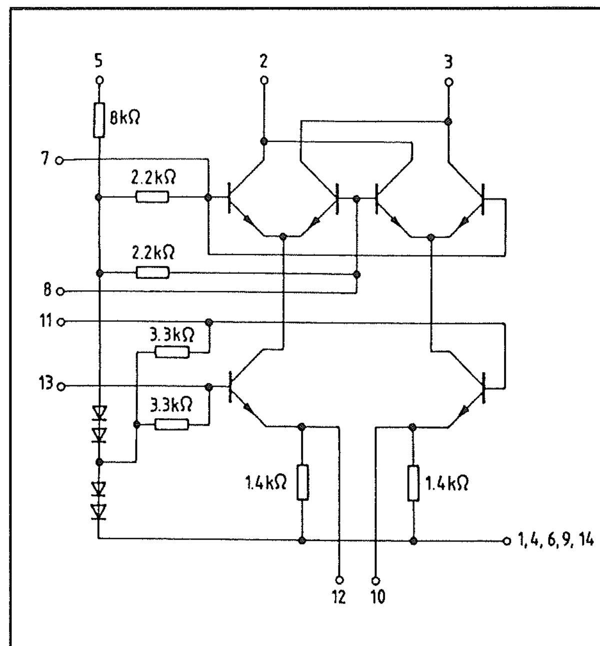
lijke emitterleiding van de tweede verschilversterker T4/T5. In deze trap wordt de AVR toegepast, maar ook nu zal het duidelijk zijn dat deze stuurspanning geen invloed heeft op het onderste deel van de schakeling. De totale emitterstroom van T4/T5 blijft immers constant, zodat het systeem rond T1, T2 en T3 niet eens weet dat er in T5 sprake is van een AVR-regeling. In de collector van T5 is de afgestemde kring opgenomen, die de verschilfrequentie uit het totale signaal filtert en, via de niet getekende secundaire wikkeling, aanbiedt aan de middenfrequent versterker.



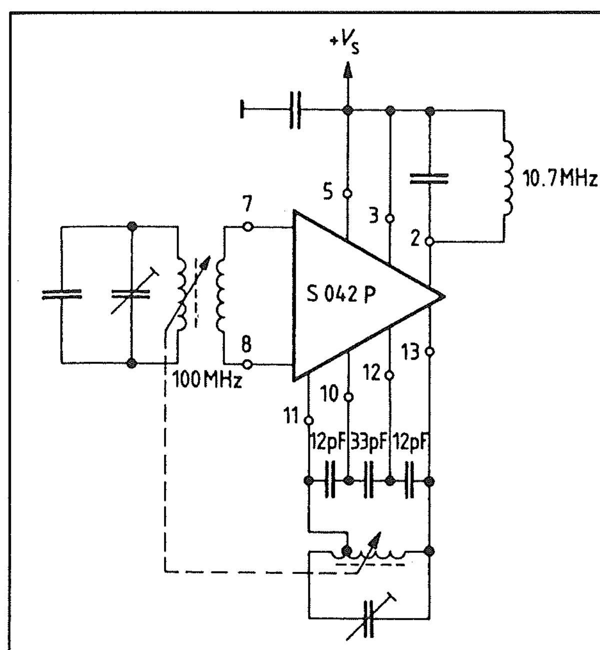
Figuur 5/2.1.6-4: Een mengtrap rond een SL 420 IC.

De S 042 P

Dit door Siemens ontwikkelde IC is speciaal op de markt gebracht voor het samenstellen van geïntegreerde mengers voor FM-bedrijf. Zoals uit het interne schema van figuur 5/2.1.6-5 blijkt, wordt ook bij dit IC gebruik gemaakt van een multiplicerende schakeling.



Figuur 5/2.1.6-5: Het interne schema van de S 042 P.



Figuur 5/2.1.6-6: Een voorbeeld van een mengschakeling met een S 042 P en inductieve afstemming.

De schakeling kan gebruikt worden tot 200 MHz en is dus ideaal voor de FM-band. Het IC kan zowel worden gestuurd met een externe locale oscillator als gebruik maken van de interne oscillatorschakeling.

In figuur 5/2.1.6-6 wordt de S 042 P gebruikt met inductieve afstemming. Het HF-signaal wordt aangeboden tussen de pennen 7 en 8. De locale oscillator is opgebouwd rond de twee onderste transistoren van het interne schema. Het verschilsignaal met een frequentie van 10,7 MHz wordt inductief afgevoerd via pen 2.

5/2.1.7 Front-end's

Inleiding
Tegenwoordig worden de HF-versterker, de locale oscillator en de menger meestal uitgevoerd onder de vorm van een module. Men sluit er het antennesignaal op aan, voert een afstemspanning toe en op de uitgang verschijnt het MF-signaal met een frequentie van 10.7 MHz!
Deze evolutie wordt voor een groot deel veroorzaakt door het toepassen van hoogfrequente PLL-technieken in digitaal af te stemmen FM-ontvangers. Bij deze systemen wordt gebruik gemaakt van zeer snelle digitale signalen. Deze zijn rijk aan harmonischen en kunnen gemakkelijk doordringen tot de HF-trappen van de ontvanger.
Dat mag absoluut niet, want daardoor kunnen zeer vervelende storingen ontstaan. De enige oplossing is het volledig inkapselen en afschermen van de gevoelige hoogfrequente schakelingen.

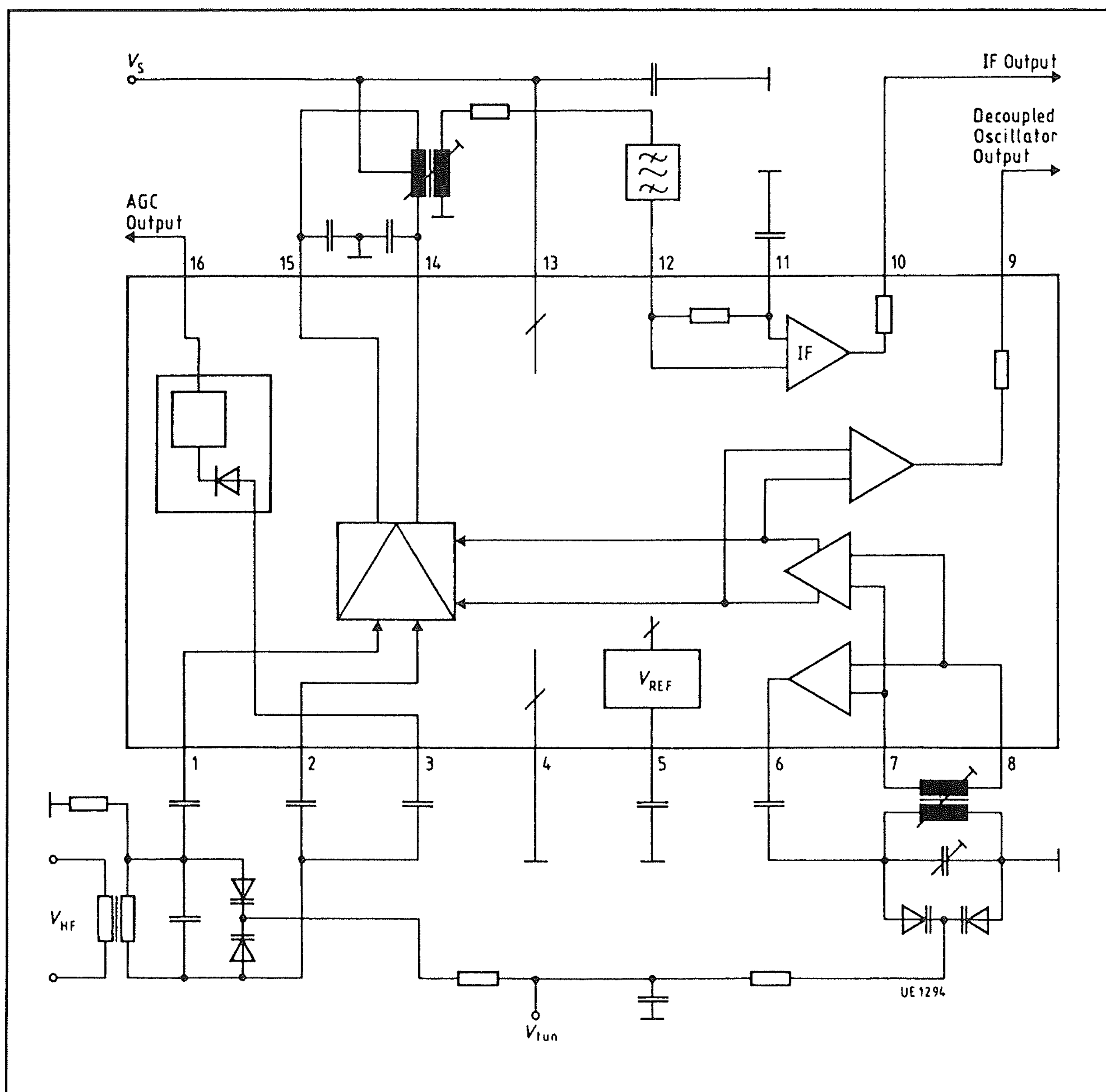
Een dergelijke module wordt een "front-end" genoemd. Ook hier wordt tegenwoordig hoofdzakelijk gebruik gemaakt van moderne geïntegreerde schakelingen, die alle actieve functies in zo'n front-end voor hun rekening nemen. Als voorbeeld worden enige praktische schakelingen besproken met dergelijke moderne IC's.

De TUA 1574-X6
Dit allernieuwste IC van Siemens bevat een dubbel gebalanceerde menger, een AVC-schakeling, een symmetrische HF-voorversterker en een middenfrequent uitgangstrap. De schakeling levert een ontkoppelde uitgang die gebruikt kan worden in een PLL-circuit voor het digitaal afstemmen van de radio-ontvanger.

Een toepassing van dit IC is getekend in figuur 5/2.1.7-1.

Het HF-signaal wordt via een bandfilter toegevoerd naar de pennen 1 en 2. Dit bandfilter wordt met twee varicap's afgestemd. Uit het HF-signaal op pen 2 wordt via de doorkoppeling naar pen 3 de AVC-spanning afgeleid. De locale oscillator wordt uiteraard ook met varicap's afgestemd en neemt het rechter deel van de schakeling in beslag. Het oscillatorsignaal gaat naar een buffer en wordt via pen 9 uitgevoerd.
Op deze uitgang staat een signaal dat gebruikt kan worden voor de digitale afstemming van de schakeling via een PLL. De uitgang van de menger op de pennen 15 en 16 gaat via een op 10,7 MHz afgestemd bandfilter weer terug naar het IC en wel op pen 12.
Nadien volgt nog een eerste MF-trap, waarvan de uitgang op pen 10 ter beschikking staat voor verdere verwerking.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



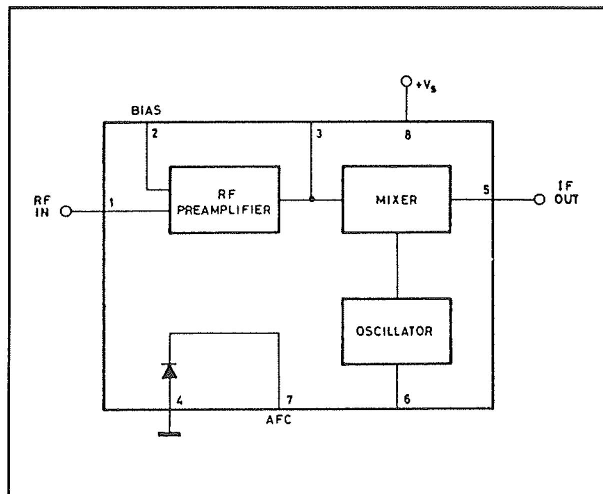
Figuur 5/2.1.7-1: Een front-end rond de TUA 1574-X6 van Siemens.

De TDA 7211 A

De TDA 7211 A van SGS-Thomson is een zeer eenvoudige in DIL-8 ondergebrachte schakeling. Het interne blokschema is getekend in figuur 5/2.1.7-2.

De schakeling is speciaal ontwikkeld voor het samenstellen van front-end's voor draagbare radio's en werkt reeds goed met een voedingsspanning van 1,3 V! De schakeling bevat een HF-voorversterker, een gebalanceerde mengtrap, een locale oscillator met slechts één stuuringang en een varicap-diode voor automatische frequentie-correctie.

Het HF-signaal moet via een bandfilter toegevoerd worden op pen 1.



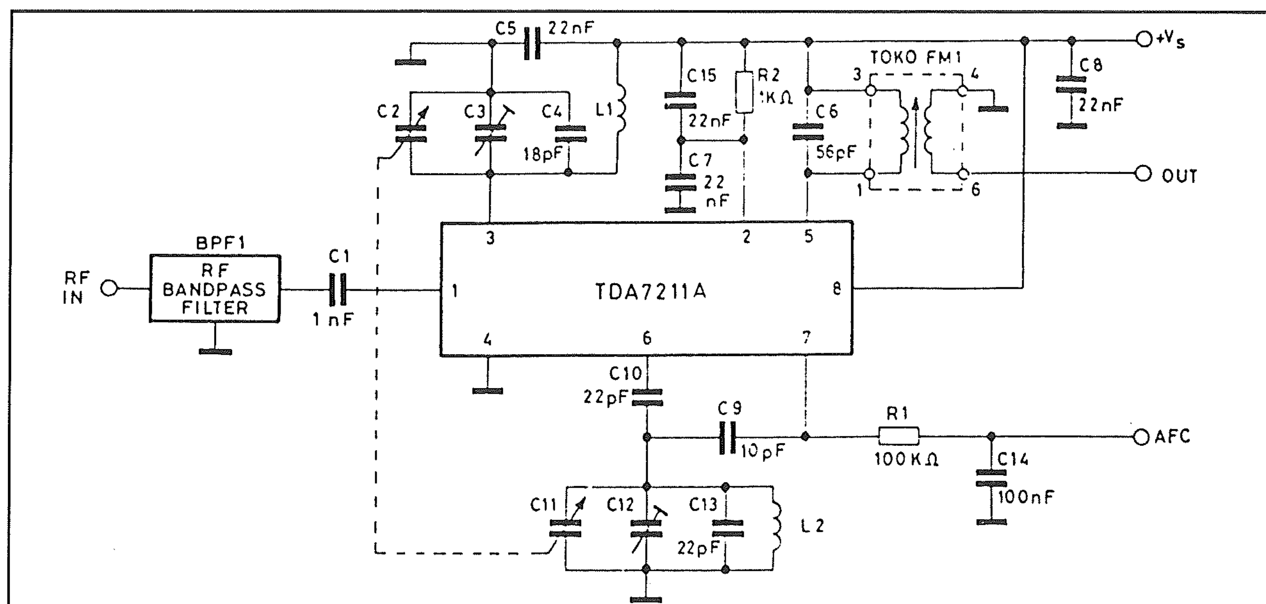
Figuur 5/2.1.7-2: Het interne blokschema van de TDA 7211 A.

De locale oscillator wordt afgestemd door het netwerk op pen 6. De interne HF-voorversterker is ook afgestemd via het netwerk op pen 3. Het MF-signaal wordt afgetakt van pen 5 en gaat via een op 10,7 MHz afgestemd bandfilter naar de middenfrequent versterker. Een extern AFC-signaal, afkomstig van de FM-demodulator (zie later) beïnvloedt via pen 7 de frequentie van de locale oscillator.

De TDA 1574 T

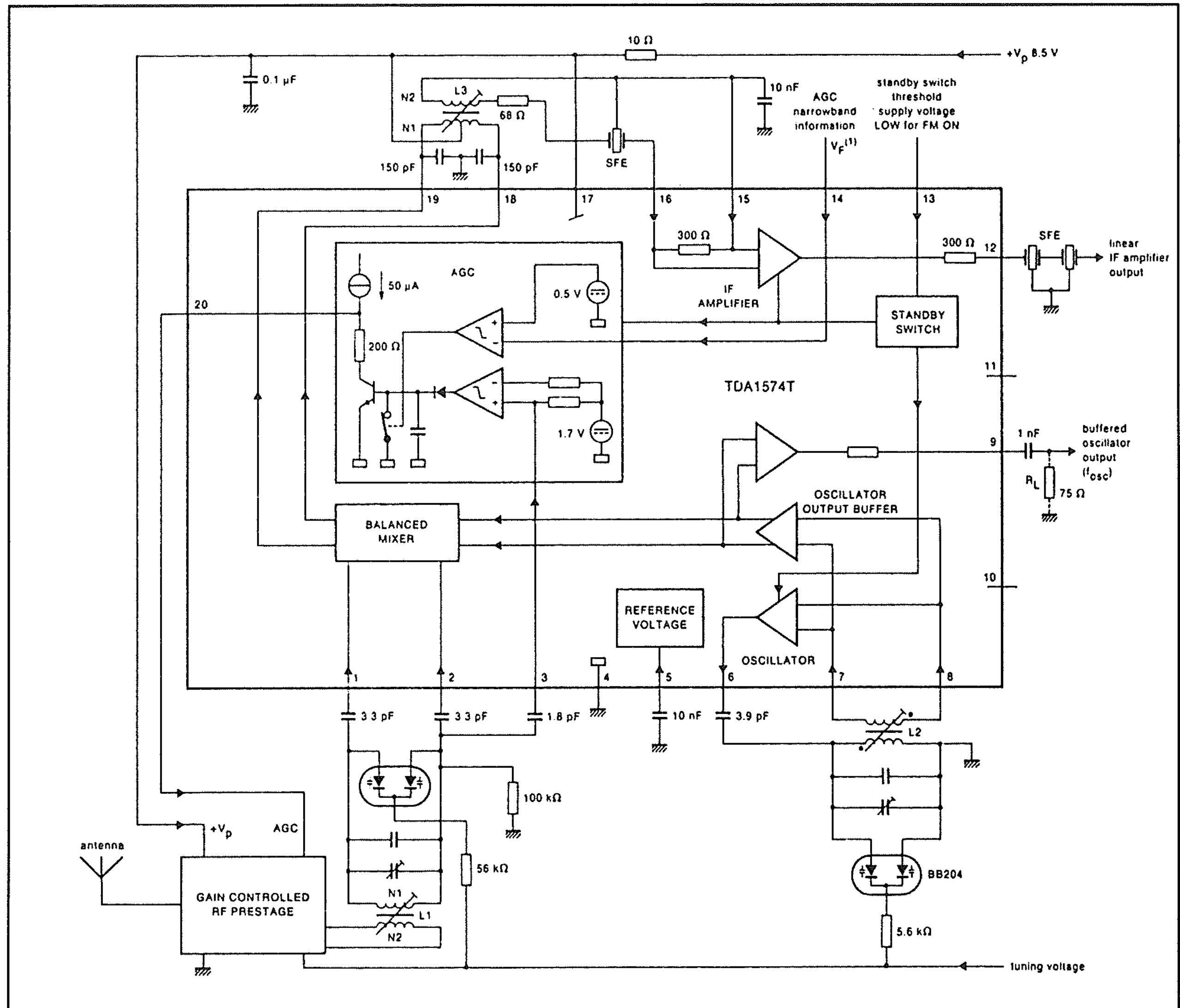
Dit IC van Philips vertoont opmerkelijk veel gelijkenis met het eerder besproken Siemens IC.
Het bevat dus alle reeds bekende blokken, maar heeft een ingang op pen 13 waarmee men het front-end elektronisch kan uitschakelen.
Een toepassingsvoorbeeld is getekend in figuur 5/2.1.7-4.

Het voorversterkte antennesignaal (waarop AVC kan worden toegepast) gaat via een met varicap's afgestemd bandfilter naar de ingangen van de interne menger op de pennen 1 en 2.
Uit het signaal op pen 2 wordt via de lus naar pen 3 de AVC-spanning voor de HF-voorversterker afgeleid. De oscillatorschakeling is identiek aan deze van het Siemens IC. Zo ook de menger en de eerste MF-trap.
Het MF-signaal wordt afgenomen van pen 12 en kan via een ceramisch bandfilter aan de externe MF-versterker worden aangeboden.



Figuur 5/2.1.7-3: Een praktische schakeling van een front-end met een TDA 7211 A.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.7-4: Een front-end met de TDA 1574 T van Philips.

5/2.1.8 De MF-versterker

Inleiding

De MF-versterker heeft tot taak het uitgangssignaal van de menger verder te versterken. Omdat de afgestemde kring aan de uitgang van de menger niet in staat is alle niet gewenste frequenties in voldoende mate te onderdrukken wordt de MF-versterker steeds selectief uitgevoerd. Dat wil zeggen dat deze versterker afgestemd wordt op de waarde van de MF-frequentie, zodat alle andere signalen volledig onderdrukt worden.

Er worden uiteenlopende eisen gesteld aan MF-versterkers voor AM, FM of FM-stereo. Deze verschillende eisen hebben vooral te maken met de noodzakelijke bandbreedte van de afgestemde kringen.

- AM ontvangst

  Bij AM liggen de zenders minimaal 9 kHz uit elkaar. Dat is dus meteen de

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

maximale bandbreedte van de MF-versterker voor AM.
Om zowel zwakke als sterke zenders met een ongeveer gelijk volume te kunnen ontvangen moet op de versterker een forse automatische versterkingsregeling (AVR of AVC) worden toegepast.

- FM-mono ontvangst
  De algemene formule voor de bandbreedte van het FM-signaal wordt gegeven door de uitdrukking:
  $\mathbf{b = 2 \,.\, (\Delta f_{HF} + 2 \,.\, f_{NF})}$
  waarin:
  - Δf_{HF} gelijk is aan de frequentiezwaai;
  - f_{NF} gelijk is aan de maximale modulatie-frequentie.

  De frequentiezwaai is gelijk aan 75 kHz. Bij ontvangst van mono-zenders bedraagt de maximale modulatiefrequentie 15 kHz. De bandbreedte wordt dan gelijk aan 210 kHz.
- FM-stereo ontvangst
  Het enige verschil tussen mono- en stereozenders is dat de maximale modulatiefrequentie gelijk is aan 53 kHz. Maar daar de maximale uitsturing van het signaal slechts 22,5 % bedraagt wordt de bandbreedte gegeven door de uitdrukking:
  2 . (75 . 0,225 + 2 . 53) = 245,75 kHz

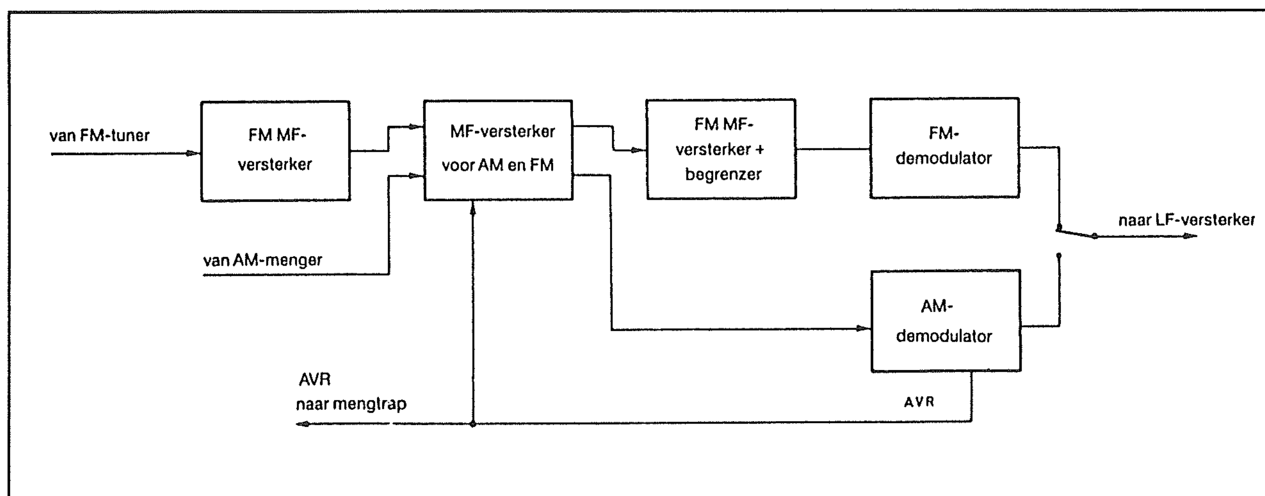
Uit deze vergelijkingen volgt dat de bandbreedte voor de ontvangst van stereo-FM zenders groter moet zijn dan voor de ontvangst van mono-FM zenders.

De minimale opzet
In zeer goede ontvangers worden afzonderlijke MF-versterkers gebruikt voor AM en FM. Bij de meeste goedkopere ontvangers worden echter gecombineerde schakelingen gebruikt. De afgestemde kringen voor 460 kHz en 10,7 MHz kunnen zonder problemen in serie worden geschakeld. De resonantiefrequenties liggen zo ver uit elkaar dat zij elkaar niet beïnvloeden.
Een op 460 kHz afgestemde filter zal voor een signaal met een frequentie van 10,7 MHz een kortsluiting vormen. Hetzelfde geldt ook omgekeerd.
Wat wél een probleem is, is de noodzakelijke grotere versterking voor FM. Vandaar dat men bij gecombineerde systemen steeds de opzet van figuur 5/2.1.8-1 zal aantreffen.

De eerste trap van de MF-versterker is alleen bedoeld voor de FM-band. Nadien volgt een gecombineerde versterker voor AM en FM. Tot slot volgt nog eens een extra begrenzertrap voor FM, omdat het systeem van FM alleen storingsvrije ontvangst garandeert als alle signalen versterkt worden tot boven een bepaald begrenzingsniveau. De uitgang van de gemeenschappelijke MF-versterker gaat naar de AM-demodulator. De uitgang van de FM-begrenzer gaat naar de FM-demodulator.
Uit de AM-demodulator wordt het signaal afgeleid voor het sturen van de AVR. Dit regelsignaal werkt alleen in op de gemeenschappelijke MF-versterker en gaat ook naar de menger voor AM.

De afgestemde kringen
Vroeger werden LC-netwerken toegepast voor het afstemmen van de MF-versterker. Tegenwoordig worden vrijwel uitsluitend ceramische bandfilters gebruikt.
Ceramische bandfilters werken in principe op dezelfde manier als kwartskristallen.
Het stukje ceramisch materiaal wordt primair aan het trillen gebracht door er een spanning over aan te sluiten.

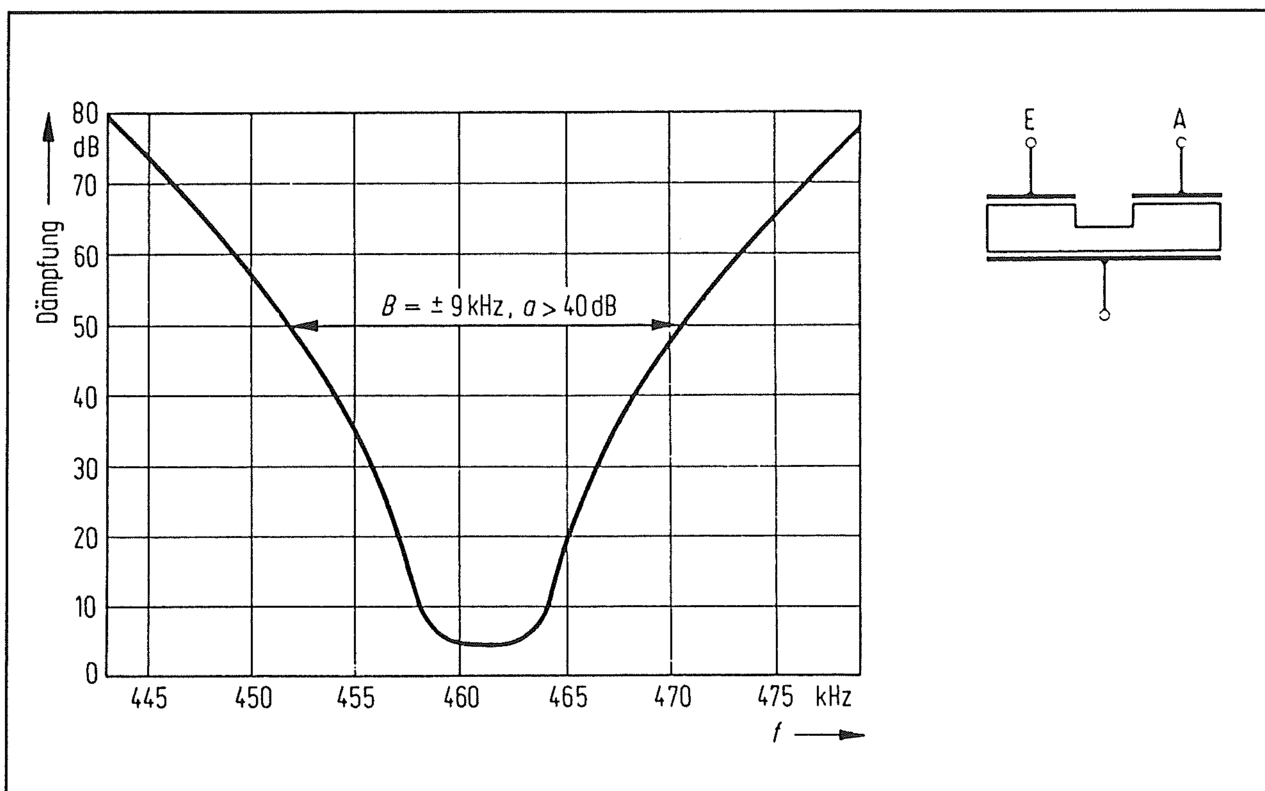
2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.8-1: Een gecombineerde MF-versterker voor AM en FM.

De trillingen planten zich voort door het materiaal en worden secundair weer omgezet in een spanning. De materiaaleigenschappen, afmetingen van het plaatje en geometrie bepalen de doorlaatkarakteristieken van het filter.

In figuur 5/2.1.8-2 is rechts het symbool van een ceramisch bandfilter getekend en links de doorlaatkarakteristiek van een bandfilter dat ontworpen is voor de AM middenfrequentie van 460 kHz.



Figuur 5/2.1.8-2: De doorlaatkarakteristiek en het symbool van een ceramisch bandfilter.

In figuur 5/2.1.8-3 is de samenstelling getekend van een dubbel ceramisch bandfilter voor 10,7 MHz. De -3 dB punten van dit filter liggen 175 kHz van elkaar, zodat het filter zonder meer ingezet kan worden voor mono- en stereo-FM zenders. De afsluitimpedanties voor primaire en secundaire aanpassing zijn in het filter geïntegreerd. Voor professionele ontvangers waar een iets bredere band noodzakelijk is worden verschillende filters achter elkaar geschakeld, die ieder een iets andere resonantiefrequentie hebben. In de meeste gevallen worden tussen de individuele filters versterkertrappen geschakeld waarvoor men, dank zij de relatief lage MF-frequentie, zonder enig probleem geïntegreerde schakelingen kan toepassen.

Het principe van AVR bij AM

Automatische versterkingsregeling is een techniek die voornamelijk bij AM-ontvangst wordt toegepast. Het zal duidelijk zijn dat een MF-versterker bij AM niet overstuurd mag worden. Het uitgangssignaal loopt dan vast, waardoor de geluidsinformatie, die verborgen zit in de amplitude van het MF-signaal, verloren gaat. De MF-versterker mag dus geen al te hoge versterkingsfactor hebben. Maar anderzijds is het wél de bedoeling dat ook zwakke signalen voldoende versterkt wordt om een demoduleerbaar MF-signaal op te wekken. Deze twee tegengestelde eisen kunnen niet opgelost worden met een versterker met vaste versterkingsfactor. Vandaar dat de versterking van de MF-trappen wordt geregeld en wel door een signaal dat wordt afgeleid uit de AM-demodulator. Deze demodulator is, zoals later zal blijken, een gewone detector en uit deze detector kan men op een heel eenvoudige manier een gelijkspanning genereren, waarvan de grootte een maat is voor de grootte van het uitgangssignaal van de MF-versterker.

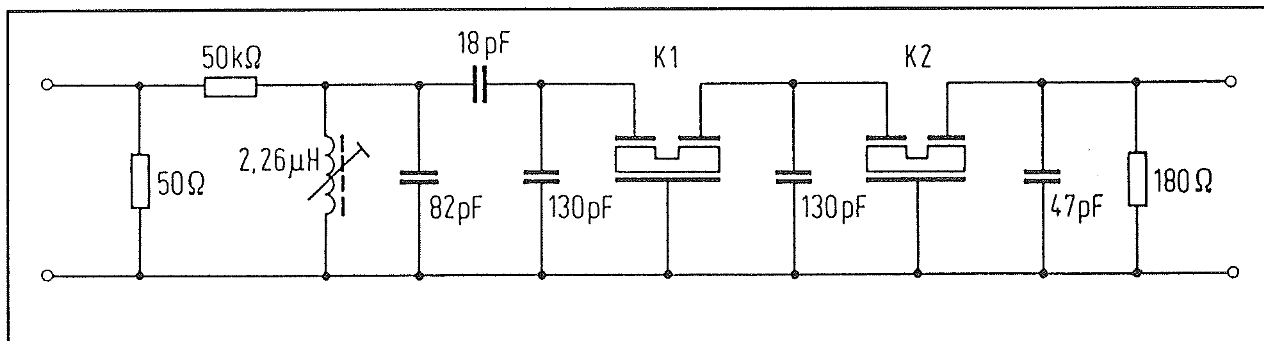
Het algemene principe van AVR is getekend in figuur 5/2.1.8-4. Het regelsignaal dat uit de demodulator wordt afgeleid wordt eerst afgevlakt met een condensator C en nadien via RC-kringetjes aan de te regelen trappen aangeboden. Deze trappen zorgen voor een integrerende werking van de regeling, zodat de schakeling alleen reageert op fundamentele signaalwijzigingen en niet op korte stoorpulsen.

De AVR werkt in op het instelpunt van de transistoren uit de versterkertrappen. Zoals in figuur 5/2.1.8-5 geschetst is, hebben deze transistoren (uiteraard) een niet lineaire karakteristiek. Bij sterke signalen staat de trap ingesteld in punt A2. Dat wordt verzekerd door een basis-emitter spanning U_{BE2}. De basissignaalspanning U_1' heeft een collectorstroom I_2' tot gevolg. Wordt een zwakkere zender ontvangen, dan zal deze een basissignaalspanning U_1 tot gevolg hebben. De regelspanning van de AVR zorgt er nu voor dat het instelpunt van de trap verschoven wordt naar A1. De transistor staat nu ingesteld in een steiler gedeelte van de karakteristiek, met als gevolg dat de kleinere signaalspanning een collectorstroom I_2 tot gevolg heeft, die ongeveer even groot is als de stroom I_2'.

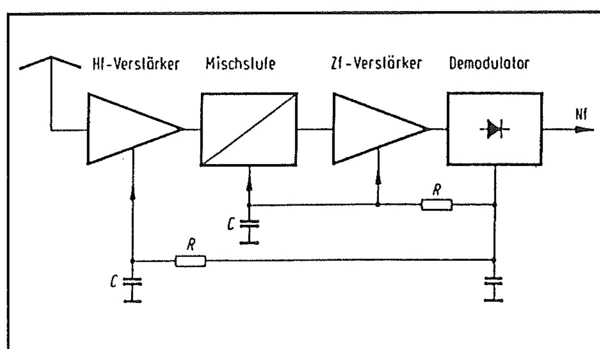
Het principe van begrenzing bij FM

Bij de middenfrequent trappen van een FM-ontvanger is het niet noodzakelijk een AVR toe te passen. Bij FM-ontvangst komt het er immers op aan de amplitude van het versterkte MF-signaal zo constant mogelijk te houden.

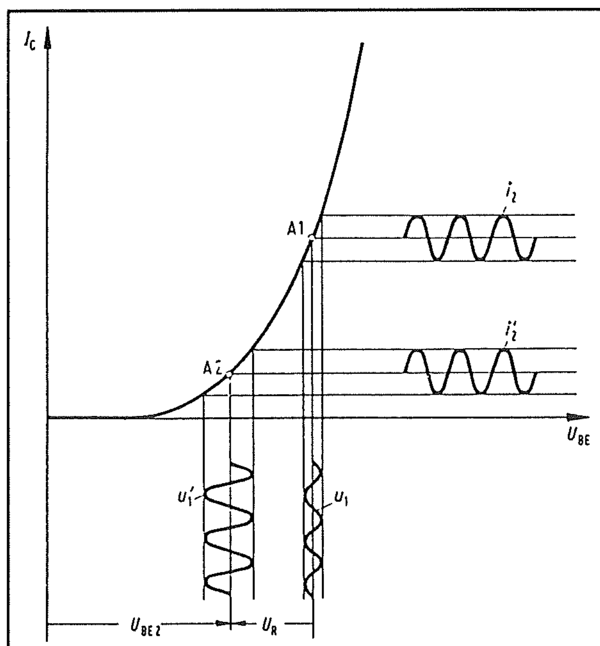
2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.8-3: Een praktische schakeling van een ceramisch bandfilter voor de FM-band.



Figuur 5/2.1.8-4: Het algemene principe van AVR bij een AM-ontvanger.

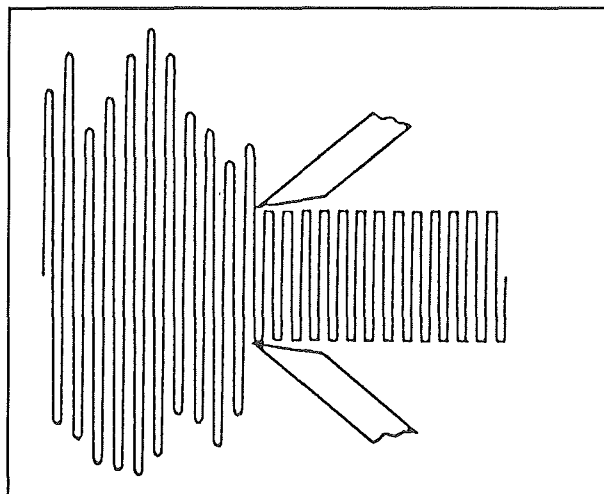


Figuur 5/2.1.8-5: De AVR-werking berust op de niet-lineaire karakteristieken van een transistor en op het verschuiven van het instelpunt.

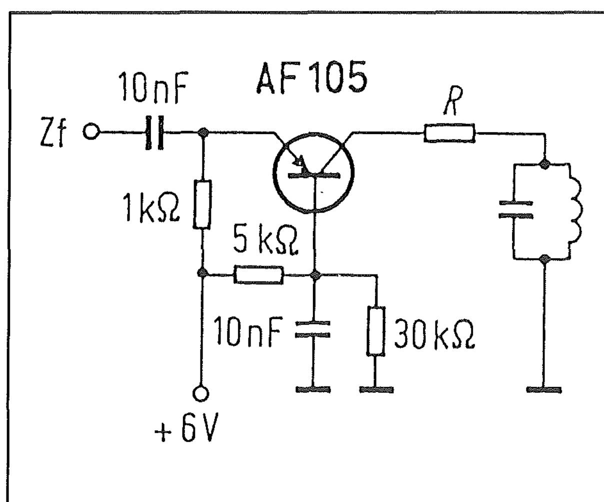
De laagfrequente informatie zit nu immers in de frequentie-afwijkingen rond de middenfrequentie en niet in de grootte van het signaal. Vandaar dat alle MF-versterkers voor FM zijn voorzien van een begrenzer, die er voor zorgt dat de top-tot-top waarde van het versterkte MF-signaal op een constante waarde wordt begrensd. De werking van deze begrenzer wordt toegelicht in de grafiek van figuur 5/2.1.8-6. Alle signaalpieken die groter zijn dan de twee begrenzingsdrempels worden afgesneden, zodat een signaal met een constante amplitude over blijft.

Het basisschema van een begrenzertrap is getekend in figuur 5/2.1.8-7. De transistor is in geaarde basis geschakeld, het signaal wordt dus toegevoerd op de emitter. Het signaal stuurt de halfgeleider volledig in verzadiging. Bij een transistor die volledig in verzadiging wordt gestuurd kan men echter vaststellen dat de collectorcapaciteit niet constant blijft. Deze variërende capaciteit staat parallel aan de capaciteit die in de afgestemde kring wordt gebruikt. Het gevolg zou een ontoelaatbare verstemming van het filter zijn. Vandaar dat men een kleine weerstand R in serie met het filter in de collectorleiding opneemt. Deze zorgt voor een afscherming tussen beide capaciteiten, zodat de invloed van de collectorcapaciteit wegvalt.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.8-6: De werking van de begrenzer in de MF-versterker voor de FM-band.



Figuur 5/2.1.8-7: Het basisschema van een begrenzertrap die vaak gebruikt wordt als laatste trap van een MF-versterker voor FM.

MF-versterkers met IC's

Tegenwoordig is iedere radio-ontvanger uitgerust met geïntegreerde MF-versterkers. Iedere fabrikant van analoge IC's brengt wel enige typen op de markt die voor dit doel geschikt zijn.

In figuur 5/2.1.8-8 is een voorbeeld gegeven van een MF-versterker voor FM met een geïntegreerde schakeling van het type TBA 120.

Deze schakeling heeft dezelfde versterking als een discrete uit drie trappen samengestelde schakeling. Het zal duidelijk zijn dat het gebruik van geïntegreerde schakelingen tot een aanzienlijke onderdelenwinst voert!

Tussen de uitgang van de menger en de ingang van de versterker wordt het afgestemde filter opgenomen. Dat bestaat uit een viervoudig ceramisch filter met resonantiefrequentie van 10,7 MHz. Het enige afregelelement van de schakeling is een spoel van 0,3 µH, die wordt gebruikt als faseverschuiver.

Deze spoel wordt via twee scheidingscondensatoren van 27 pF op het IC aangesloten.

Bij de nieuwste uitvoering van dit IC, de TBA 120 S, zijn deze twee kleine condensatoren in het IC geïntegreerd.

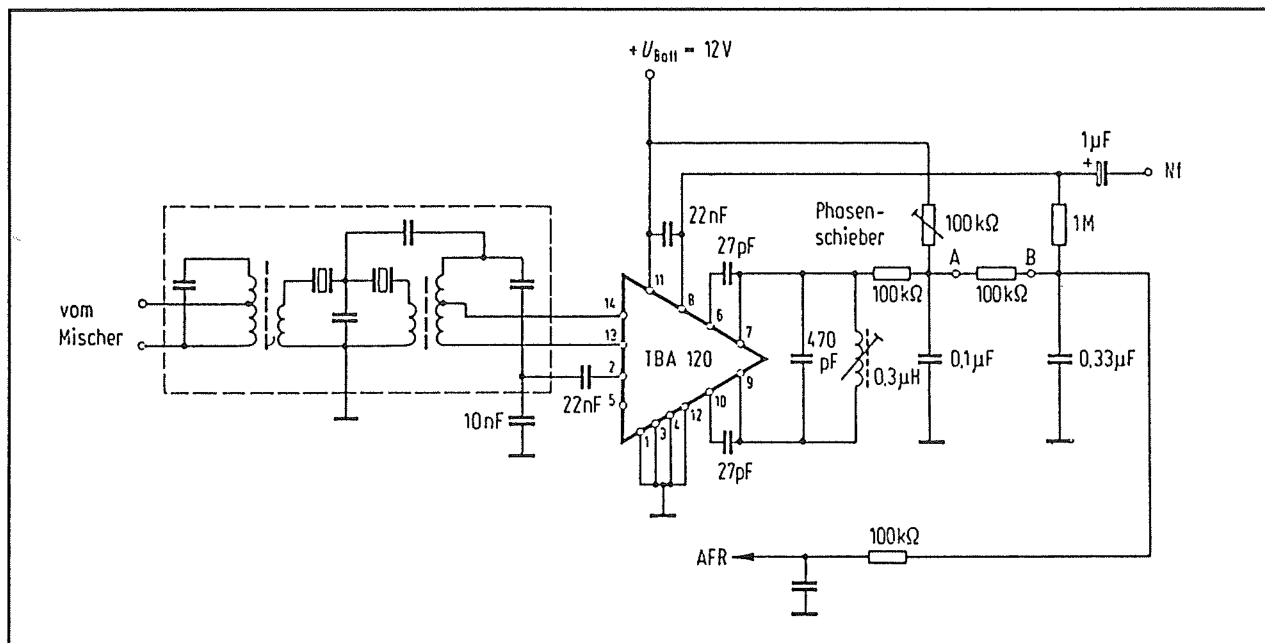
De schakeling levert ook een stuursignaal af voor de automatische frequentie correctie AFR.

Dat kan, omdat de TBA 120 ook een FM-demodulator bevat. Deze combinatie MF-versterker en demodulator zal men in de meeste geïntegreerde FM-versterkers aantreffen!

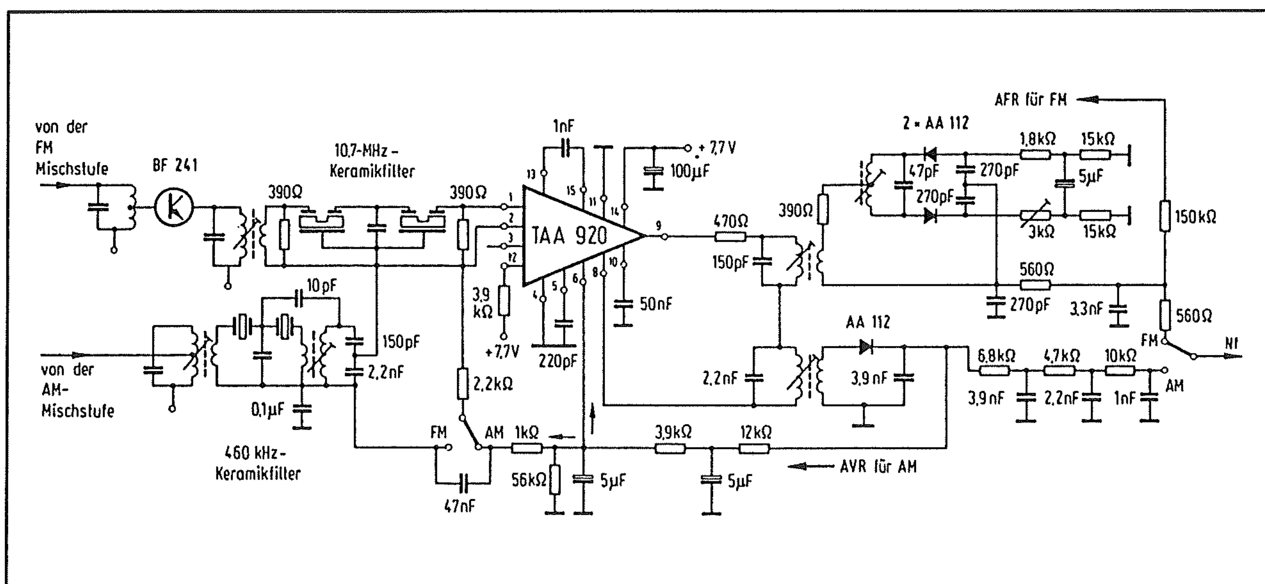
In figuur 5/2.1.8-9 is een geïntegreerde MF-versterker getekend, die zowel voor AM als voor FM kan worden gebruikt. De TAA 920 is een breedbandversterker, die het equivalent van 12 transistortrappen bevat.

De werking van de schakeling wordt verduidelijkt aan de hand van het inwendige schema van de TAA 920, getekend in figuur 5/2.1.8-10.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.8-8: Een geïntegreerde MF-versterker voor FM.



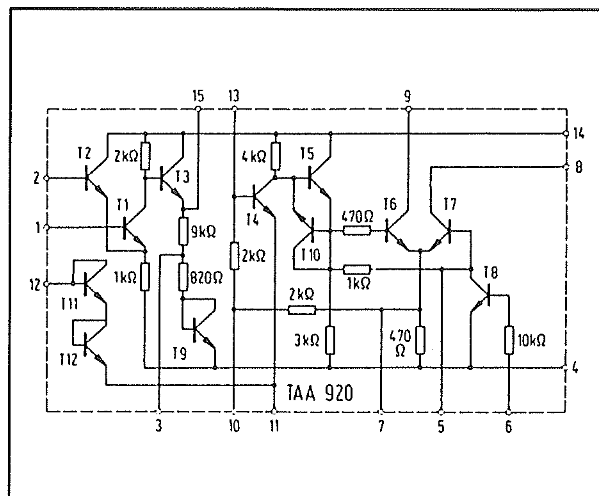
Figuur 5/2.1.8-9: Een gecombineerde geïntegreerde MF-versterker voor AM en FM.

Het middenfrequent signaal voor AM wordt aangeboden aan de ingangen 1 en 2 van de transistorschakeling rond T1 en T2.
Deze vormen een verschilversterker met stroomverdeling. De AVR regelspanning wordt via de schakelaar AM/FM aan pen 2 aangeboden. Het door T1 versterkte en geregelde signaal wordt rechtstreeks aan de basis van de emittervolger T3 aangeboden.
Omdat de AVR ook het instelpunt van de trap beïnvloedt moet het versterkte signaal via een scheidingscondensator tussen de pennen 15 en 13 verder verwerkt worden. Nadien gaat het signaal naar de

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

basis van T4, wordt daar versterkt, gaat naar de emittervolger rond T5 en wordt nadien aan de tweede verschilversterker T6 + T7 aangeboden. Ook deze tweede verschilversterker wordt geregeld en wel door transistor T8. De basisspanning van deze halfgeleider wordt betrokken uit de regelspanning van de AVR. De uitgangsspanning staat op pen 9 ter beschikking voor de AM-demodulator.
De instelling van de eerste verschilversterker wordt verzorgd door de schakeling rond T9.
Deze is als diode geschakeld en verzorgt de basisspanning voor T1. De instelspanning voor T4 wordt verzorgd door de twee transistoren T11 en T12.
Ook deze zijn als diode geschakeld en worden door de externe weerstand van 3,9 kΩ ingesteld.
Schakelt men over op FM, dan wordt de AVR uitgeschakeld, zodat de eerste verschilversterker een constante versterkingsfactor krijgt. Hetzelfde geldt voor de tweede verschilversterker. De signaalweg voor FM door de schakeling is identiek als deze voor AM.
Let op de manier waarop de twee discreet uitgevoerde demodulatoren in serie op de uitgang van het IC zijn aangesloten. Zoals reeds gezegd kan men deze schakeltechniek zonder bezwaar toepassen, omdat de frequenties zo ver uit elkaar liggen dat de twee trappen elkaar niet beïnvloeden.
Dezelfde techniek wordt aan de ingang toegepast, waar de twee signalen ook via elkaars afgestemde ceramische filters aan de ingang van de geïntegreerde versterker worden aangeboden.

De volledige schakeling bevat slechts vier af te regelen spoelen, namelijk twee in de ingang en twee in de uitgang.



Figuur 5/2.1.8-10: Het inwendige schema van de TAA 920.

5/2.1.9 De AM-demodulator

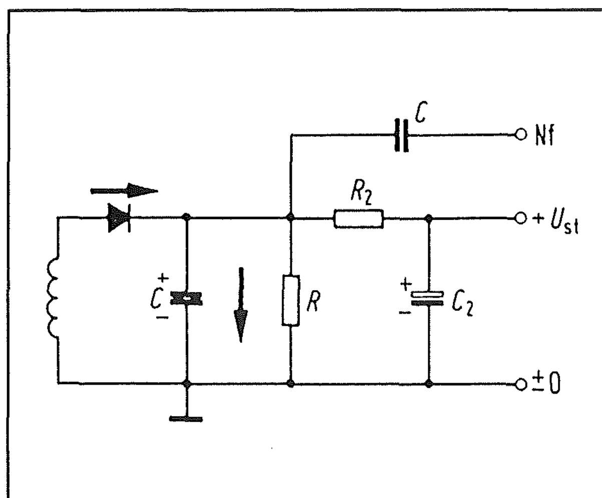
Inleiding

Het demoduleren van een AM-signaal is een typisch gelijkrichtprobleem. Het volstaat in principe de uitgangsspanning van de MF-versterker door middel van een diode gelijk te richten en de gelijkgerichte spanning door middel van een condensator af te vlakken. Maar er zijn in de loop der tijden ook nog andere systemen ontwikkeld, die niet de nadelen hebben van de gewone gelijkrichting.

De omhullende AM-detector

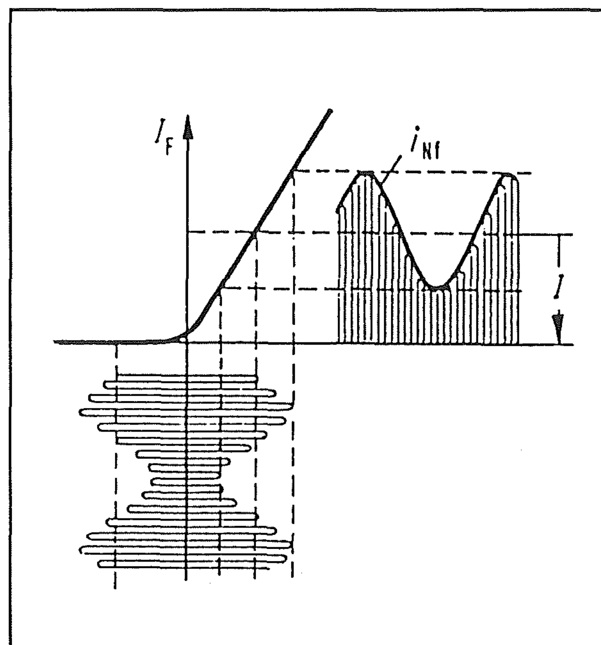
Bij de omhullende AM-detectie wordt gebruik gemaakt van het eenvoudige principe van enkelvoudige gelijkrichting.
Het basisschema van een dergelijk AM-demodulator is getekend in figuur 5/2.1.9-1. De schakeling wordt door middel van een op de MF afgestemde kring op de uitgang van de MF-versterker aan-

gesloten. De in het schema getekende spoel is de secundaire wikkeling van deze afgestemde kring. Over de spoel staat de serieschakeling van een diode en een condensator. De diode laat volgens het in figuur 5/2.1.9-2 grafisch toegelichte principe alleen de positieve helften van het MF-signaal door en spert tijdens de negatieve helften.



Figuur 5/2.1.9-1: Het basisprincipe van de omhullende AM-demodulator.

Door de diode en de kleine condensator vloeit een gemiddelde gelijkstroom I, waarop de LF-stroom I_{NF} gesuperponeerd is. Door deze stroom wordt de condensator opgeladen, zodat over dit onderdeel de LF-informatie komt te staan. Het zal duidelijk zijn dat de condensator ook ontladen moet worden. Vandaar dat over de condensator steeds een weerstand R is geschakeld. Deze weerstand verzorgt een ontlaadweg voor de condensator, zodat de spanning over de condensator de omhullende vorm van het MF-signaal zo nauwkeurig mogelijk kan volgen. Zonder deze weerstand zou de condensator zich niet kunnen ontladen en zou de schakeling als topdetector werken!



Figuur 5/2.1.9-2: Grafische verklaring van de werking van de omhullende AM-demodulator.

Belangrijk gegeven van deze schakeling is dat de signaalspanning ook gesuperponeerd is op een gemiddelde gelijkspanning.
Het zal duidelijk zijn dat de grootte van deze gemiddelde spanning rechtstreeks afhankelijk is van de grootte van de wisselspanning op de uitgang van de MF-versterker.
Op deze manier kan men deze gemiddelde gelijkspanning gebruiken voor het genereren van het stuursignaal van de automatische versterkingsregeling, die bij iedere MF-versterker voor AM moet worden toegepast.

De LF-informatie wordt gescheiden van de gemiddelde gelijkspanning door middel van de scheidingscondensator C, die op het knooppunt van de gelijkrichtdiode en de afvlakcondensator is aangesloten. De gemiddelde gelijkspanning wordt nog

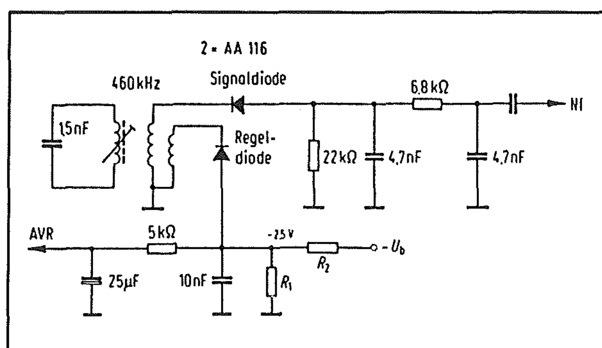
2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

eens extra gefilterd door het RC-netwerk R2/C2 en staat over de condensator als een mooi gemiddeld gelijkspanningssignaal U_{ST} ter beschikking voor het sturen van de versterking van de MF-versterker(s).

De vertraagde AVR

Bij de eenvoudige schakeling van figuur 5/2.1.9-1 is het regelsignaal voor de AVR proportioneel met de grootte van de uitgangsspanning van de MF-versterker. Dat betekent dat deze regeling ook al actief is als zeer kleine zendersignalen worden ontvangen. Dat is natuurlijk jammer, want voor dergelijke kleine signalen zou men de volle versterkingscapaciteit van de MF-versterker willen gebruiken. Vandaar dat in alle goede AM-ontvangers gebruik wordt gemaakt van een verfijndere AVR, die "vertraagde AVR" wordt genoemd. Bij dit systeem is de regelspanning niet actief als kleine zendersignalen worden ontvangen.

Er is als het ware een drempel in de regelkarakteristiek ingebouwd, die ervoor zorgt dat alleen als het zendersignaal boven een bepaalde grootte uitstijgt er geregeld wordt. Het principeschema van een AM-demodulator met vertraagde AVR is getekend in figuur 5/2.1.9-3.



Figuur 5/2.1.9-3: Het principe van een AM-demodulator met vertraagde AVR.

In de AM-demodulator zijn twee dioden opgenomen. De bovenste is de signaaldiode die zorgt voor de omhullende demodulatie van het signaal.

De onderste is de regeldiode die zorgt voor het genereren van het regelsignaal voor de vertraagde AVR. De vertraging ontstaat doordat de diode door een negatieve spanning op de anode wordt gepolariseerd. In het voorbeeld wordt deze spanning opgewekt door de spanningsdeler R1/R2.

De kathode wordt aangesloten op een extra wikkeling op het bandfilter aan de uitgang van de MF-versterker. Zolang de kathode op een lagere spanning staat dan ongeveer 3 V zal de diode sperren. Wordt het signaal groter, dan gaat de diode geleiden en het gevolg is dat er een stroom naar de condensator van 10 nF gaat vloeien.

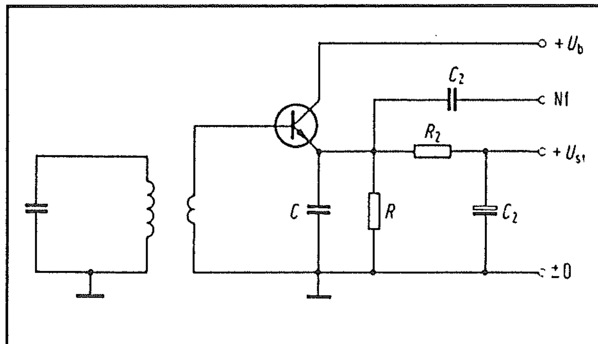
Deze stroom laadt de condensator op, de spanning wordt meer negatief en deze spanning wordt gebruikt voor het regelen van de trappen van de MF-versterker.

Variaties op de omhullende demodulator

De omhullende AM-demodulator is een zeer eenvoudige schakeling en wordt standaard gebruikt in alle goedkope radio-ontvangers.

Er zijn tal van variaties bedacht, die niets te maken hebben met het principe maar alles met de manier waarop de ontwerpers het apparaat ontworpen hebben. Zo zijn er schakelingen die positieve regelspanningen genereren maar ook schakelingen die de AVR negatief aansturen. Soms worden diode en condensator omgewisseld en soms wordt de diode vervangen door een transistor. Van een dergelijk systeem in is figuur 5/2.1.9-4 een voorbeeldje gegeven.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.9-4: Voorbeeldschema van een actieve omhullende AM-demodulator.

De transistor is als emittervolger geschakeld. Maar omdat de basis niet op een biasspanning staat ingesteld, zal de transistor alleen geleiden bij de positieve helften van het MF-signaal. De collectorstroom laadt dan de condensator in de emitter op en de parallel geschakelde weerstand verzorgt weer het ontlaadpad. Het LF-signaal wordt afgenomen via de condensator C2, de regelspanning voor de AVR via het filter R2/C2.

Nadelen van de omhullende AM-demodulator

De omhullende AM-demodulator heeft enige nadelen. De schakeling werkt dank zij de karakteristiek van een diode en zoals bekend is deze karakteristiek alles behalve lineair.
Zeker voor kleine spanningen vertoont de diode-karakteristiek een behoorlijk grote kromming. Een gevolg is dat de omhullende AM-demodulator een vervorming introduceert, die zeer groot wordt als men kleine signalen demoduleert. Een oplossing die vaak wordt toegepast om deze vervorming te minimaliseren is het voorzien van de diode van een kleine biasspanning, waardoor de anode bijvoorbeeld op een positieve spanning van 0,5 V wordt ingesteld. Op deze manier verschuift de werking naar het meer lineaire gebied van de karakteristiek.

De product-demodulator

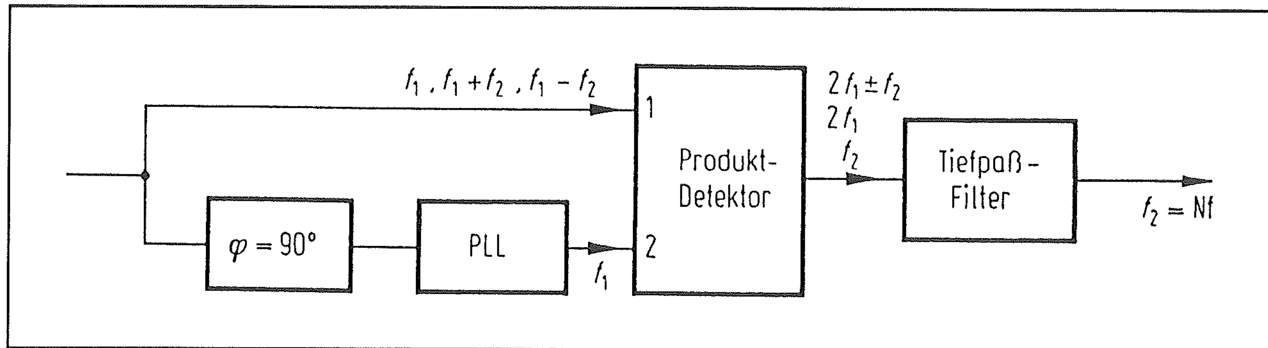
Een volledig lineaire werking wordt gegarandeerd door de product-demodulator. Nadeel is dat dit een vrij gecompliceerde schakeling is, maar als men gebruik maakt van geïntegreerde schakelingen speelt dat natuurlijk niet zo'n erg grote rol.
Het principe van de product-demodulator is geschetst in figuur 5/2.1.9-5.

De schakeling is alleen te doorgronden als men enig idee heeft van het frequentiespectrum van een AM-gemoduleerd signaal. Dat frequentiespectrum werd reeds in figuur 5/2.1.1-5 getekend en hier wordt naar deze figuur verwezen.
Als men een draaggolf met een frequentie van 1 MHz in amplitude moduleert met een signaal met een frequentie van 5 kHz, dan ontstaan er twee zijbanden met frequenties gelijk aan de som en het verschil van beide frequenties. In het voorbeeld hebben deze signalen dus frequenties van 995 kHz en 1.005 kHz. Algemeen kan men dus stellen dat een AM-gemoduleerd signaal bestaat uit drie componenten met frequenties:
- f1;
- $f_1 + f_2$;
- $f_1 - f_2$;

waarbij f_1 de frequentie van de draaggolf is en f_2 de frequentie van het laagfrequente signaal.

Bij de product-demodulator wordt het versterkte MF-signaal rechtstreeks aangeboden aan één ingang van een productdetector. Dat is in feite niets anders dan de reeds beschreven multiplicerende mengtrap!

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.9-5: Het principe van de product-demodulator.

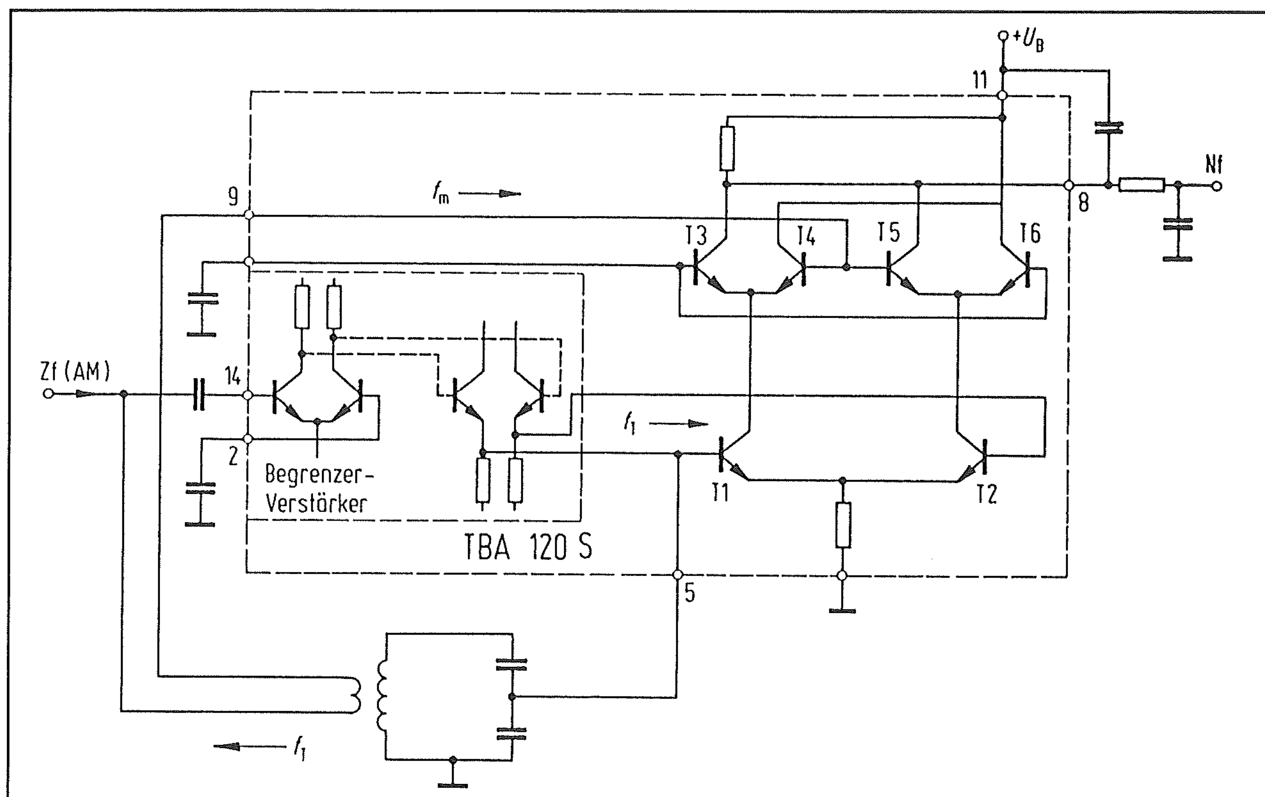
Het MF-signaal wordt daarnaast 90° in fase gedraaid en aangeboden aan de ingang van een PLL. De eigen frequentie van de PLL staat ingesteld op de middenfrequentie van het systeem en zal dan ook op dit signaal inlocken. Het gevolg is dat de VCO van de PLL een keurig signaal levert met een vaste frequentie die gelijk is aan de middenfrequentie van de AM-ontvanger. In het besproken voorbeeld is dat dus een signaal met frequentie f_1.

Rekening houdende met de reeds beschreven werking van een multiplicerende menger en met de faseverschuiving tussen beide signalen kan men berekenen dat aan de uitgang van de productdetector signalen ontstaan met frequenties van:
- $2.f_1 - f_2$;
- $2.f_1 + f_2$;
- $2.f_1$;
- f_2.

Als de middenfrequentie van de AM-ontvanger gelijk is aan 460 kHz en het LF-signaal heeft een frequentie van 1 kHz, dan levert de product-detector dus signalen af met frequenties van respectievelijk 1 kHz, 919 kHz, 920 kHz en 921 kHz.
De hoge frequenties zijn natuurlijk gemakkelijk uit het mengproduct uit te filteren met behulp van een eenvoudig laagdoorlaatfiltertje. Aan de uitgang van dit laagdoorlaatfiltertje ontstaat alleen een signaal met een frequentie van f_2. Of met andere woorden: de schakeling werkt als ideale AM-demodulator!
Het zal duidelijk zijn dat deze demodulator volledig lineair en dus vervormingsvrij werkt voor alle mogelijke groottes van het ingangssignaal. De enige voorwaarde is dat de onderste ingang van de productdetector wordt gestuurd met een signaal waarvan zowel de frequentie als de amplitude volledig constant worden gehouden. Maar daarvoor zorgt de PLL met zijn uitstekende regeleigenschappen!

De product-demodulator met IC's
Het zal duidelijk zijn dat een dergelijke ingewikkelde schakeling alleen economisch is als men gebruik maakt van speciaal voor dit doel ontwikkelde geïntegreerde schakelingen. Die bestaan dan ook, zij het dat vaak geen gebruik wordt gemaakt van een PLL, maar van een versterker die volledig overstuurd wordt. Daardoor wordt voldaan aan de eis dat de amplitude van het signaal onder alle omstandigheden constant blijft. De frequentie is uiteraard onder alle voorwaarden gelijk aan de MF-frequentie.
In figuur 5/2.1.9-6 is als voorbeeld een TBA 120 S getekend, een zeer universeel IC, dat in dit geval gebruikt wordt als product-demodulator voor AM.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.9-6: Een TBA 120 S kan onder andere worden ingezet als product-demodulator voor AM.

Het versterkte MF-signaal wordt eerst door de eerste verschilversterkers van het IC gevoerd, waardoor alle AM-informatie verdwijnt en alleen de draaggolf met constante amplitude over blijft. Dat signaal f_T wordt aangeboden aan de basissen van T1 en T2, de eerste ingang van de productdetector. Het onbewerkte MF-signaal gaat naar de basissen van de transistoren T4 en T5. De uitgang van de product-detector is de collector van T3 en het signaal daarop word via een eenvoudig RC laagdoorlaatfilter gezuiverd van de hogere frequenties.

In deze schakeling is nog een handigheidje verwerkt. Een deel van de versterkte MF-spanning f_F wordt via een afgestemde kring teruggekoppeld naar de ingang. Het gevolg is dat de amplitude van dit signaal met ongeveer 10 dB wordt versterkt. Dat is voordelig als men afstemt op zwakke zenders en bovendien heeft men dank zij deze schakeling minder MF-versterking nodig.

5/2.1.10
De FM-demodulator

Inleiding

In tegenstelling tot AM-demodulatoren zijn er veel verschillende systemen ontwikkeld voor het demoduleren van een FM-signaal. Deze hebben allemaal hun specifieke voor- en nadelen en hoewel een aantal principes in moderne ontvangers niet meer worden gebruikt, zullen zijn voor de volledigheid toch in dit subhoofdstuk worden besproken.

Besproken wordt:
- de capacitieve demodulator;
- de Foster-Seeley demodulator;
- de ratio demodulator;
- de coïncidentie demodulator;
- de tel-demodulator;
- de demodulator met PLL.

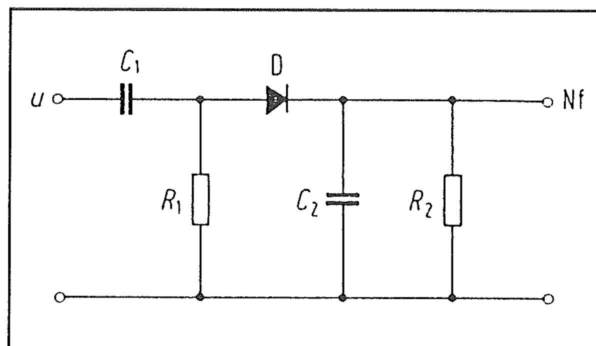
De capacitieve demodulator
Het principe van de capacitieve FM-demodulator berust op het gegeven dat de impedantie van een condensator recht evenredig is met de frequentie van het signaal over de condensator. De stroom die door een condensator vloeit wordt gegeven door de formule:

$i_c = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot u_c \cdot C$

of:

$i_c = k \cdot f$

in de veronderstelling dat het signaal over de condensator een constante grootte heeft. Deze veronderstelling is juist, immers dank zij de begrenzer levert de MF-versterker voor FM een signaal af met een constante amplitude. De stroom door de condensator is dus recht evenredig met de frequentie van het signaal. Als men dus, zoals geschetst in figuur 5/2.1.10-1, aan de serieschakeling van een condensator C1 en een weerstand R1 een FM-signaal legt, dan zal de stroom door de condensator en de weerstand recht evenredig zijn met de frequentie van het ingangssignaal. De werking van de schakeling wordt grafisch toegelicht in figuur 5/2.1.10-2. De stroom door de condensator varieert op het ritme van de LF-informatie! Over de weerstand R1 ontstaat een wisselspanning, die gelijkvormig verloopt aan de LF-informatie. Uiteraard zit op deze spanning ook nog HF-informatie. Het signaal over de weerstand is ongeveer gelijk aan het signaal dat ontstaat na de demodulatiediode van een omhullende AM-demodulator. Dus kan dit signaal op dezelfde manier verder verwerkt worden. Eerst gelijkrichten met D, nadien afvlakken met C en de condensator ontladen met R2.



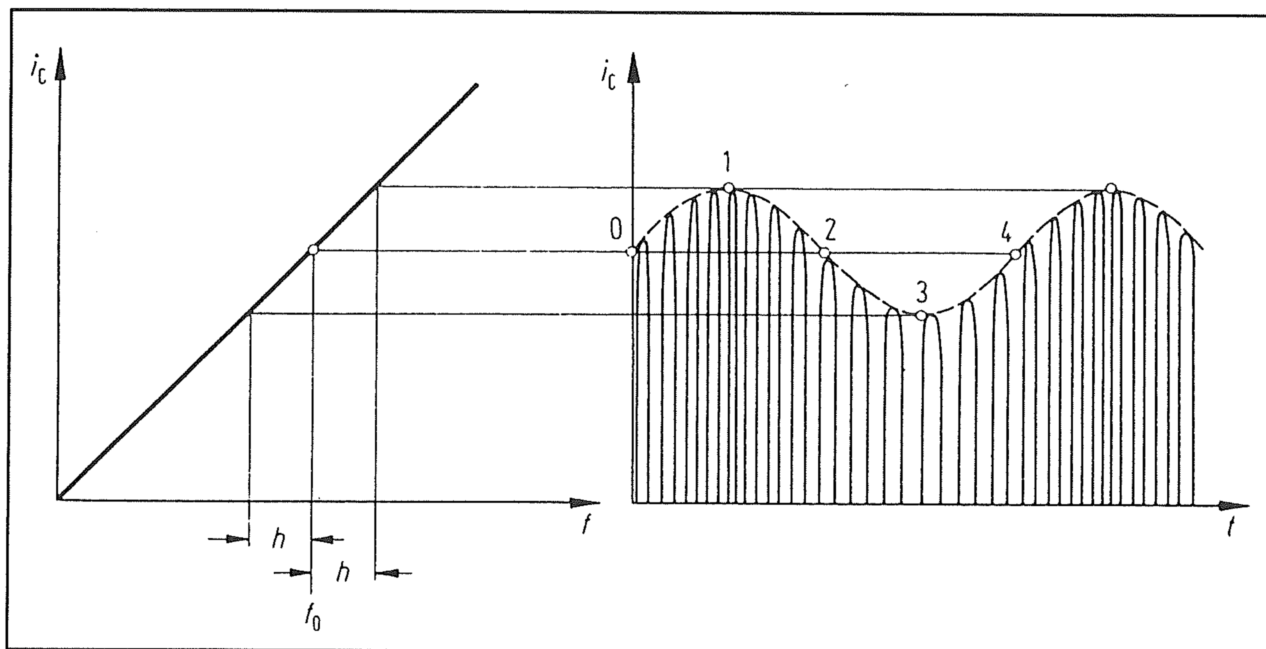
Figuur 5/2.1.10-1: Het principe van de capacitieve FM-demodulator.

De schakeling is de eenvoud zelve, maar heeft twee grote nadelen. Op de eerste plaats introduceert de diode een niet-lineaire werking, waardoor vervorming ontstaan. Op de tweede plaats levert de schakeling bij de voor FM gestandaardiseerde middenfrequentie van 10,7 MHz maar zeer kleine spanningen af. De frequentiedeviatie is immer zeer klein ten opzichte van de hoge waarde van de midden frequentie. Het gevolg is dat de condensatorstroom maar weinig rond de gemiddelde waarde zal schommelen.

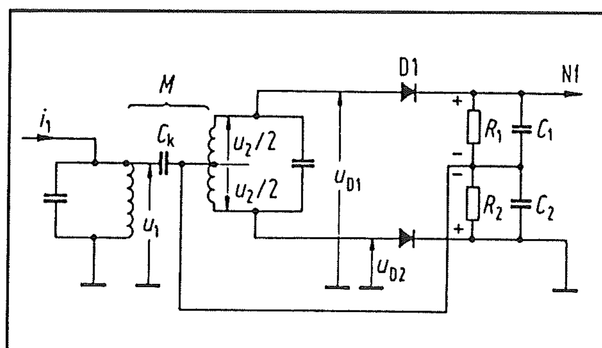
De Foster-Seeley demodulator
Deze demodulator gaat onder verschillende benamingen door het leven:
- Foster-Seeley demodulator, naar de ontwerpers van de schakeling;
- fase demodulator, naar het werkingsprincipe van de schakeling;
- Armstrong demodulator;
- Riegger demodulator.

Het basisschema van de Foster-Seeley demodulator is getekend in figuur 5/2.1.10-3.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.10-2: De werking van de capacitieve FM-demodulator grafisch toegelicht.

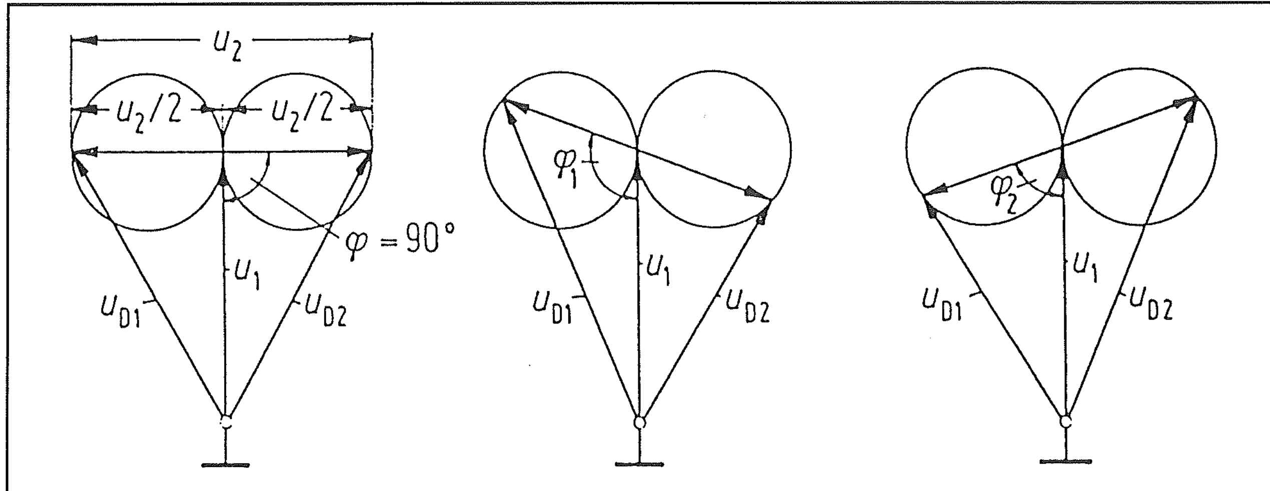


Figuur 5/2.1.10-3: Het basisschema van een Foster-Seeley demodulator voor FM.

Belangrijkste onderdeel is een spoel met drie wikkelingen. De primaire is verbonden met de uitgang van de MF-versterker. De twee primaire spoelen zijn identiek. Tussen de primaire en de secundaire bestaan twee koppelingen.
In eerste instantie uiteraard de magnetische koppeling, voorgesteld door M, in tweede instantie een capacitieve koppeling via de condensator C_k.
De spoel wordt afgeregeld op de MF van de ontvanger, in de meeste gevallen dus 10,7 MHz. De magnetische koppeling wekt in de twee secundaire wikkeling spanningen $u_{2/2}$ op, die bij resonantie in fase zijn met de ingangsspanning. Bovendien draagt de condensator C_k nog eens de volledige primaire spanning u_1 over naar het middelpunt van de twee secundaire wikkelingen.

Het gevolg van beide koppelingen is dat men de spanningen op de anodes van de dioden D1 en D2 kan bepalen als:
$U_{D1} = u_1 + u_{2/2}$
$U_{D2} = u_1 - u_{2/2}$
Om de werking van de schakeling te doorgronden is het noodzakelijk het vectordiagram van alle spanningen op te stellen.
Dat is getekend in figuur 5/2.1.10-4 voor drie verschillende omstandigheden:
- als de MF-versterker een signaal met de resonantiefrequentie van 10,7 MHz aflevert (modulatiediepte gelijk aan nul);
- als de MF-versterker een signaal met een hogere frequentie aflevert (modulatie in positieve zin);

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

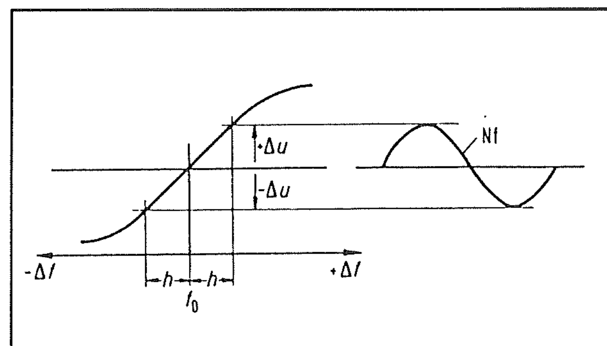


Figuur 5/2.1.10-4: De werking van de Foster-Seeley demodulator grafisch toegelicht.

- als de MF-versterker een signaal met een lagere frequentie aflevert (modulatie in negatieve zin).

In het eerste geval blijkt duidelijk dat de spanningen over beide dioden precies in fase zijn. Het gevolg is dat de reële waarde van beide spanningen even groot is. Deze spanningen worden gelijkgericht door de dioden en de gelijkgerichte spanningen ontstaan over de twee weerstanden R1 en R2. De twee spanningen hebben tegengestelde polariteiten, de somspanning over beide weerstanden is nul. De LF-uitgang levert dus geen spanning af.
Als echter de frequentie van het MF-signaal afwijkt van de resonantiefrequentie van de afgestemde kring aan de ingang, dan zullen er faseverschuivingen optreden tussen U_1 en de twee deelspanningen $U_{2/2}$. Het gevolg is nu dat de twee diodespanningen niet meer even groot zijn en er over de serieschakeling van beide weerstanden een positief of negatief spanningsverschil ontstaat. Dat is de LF-spanning van de demodulator. Het zal immers duidelijk zijn dat de verschilspanning recht evenredig is met het verschil tussen de momentele waarde van de MF-frequentie en deze bij modulatie gelijk aan nul.

De werking van de Foster-Seeley demodulator is nog eens grafisch samengevat in figuur 5/2.1.10-5. Hieruit blijkt duidelijk dat de transferkarakteristiek van de schakeling een groot lineair bereik heeft rond het punt $F_{MF} = f_0$.
Deze S-vormige grafiek is karakteristiek voor dit soort FM-demodulatoren.



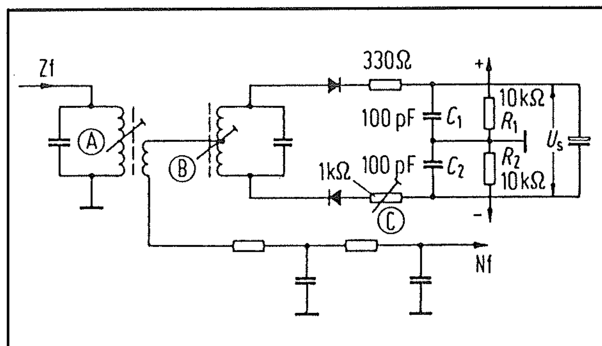
Figuur 5/2.1.10-5: De transferkarakteristiek van de Foster-Seeley demodulator.

Het zal nu ook wel duidelijk zijn dat als de ontvanger niet goed op de zenderfrequentie staat afgestemd er een verschuiving in positieve of negatieve zijn ontstaat.

De gemiddelde gelijkspanning op de uitgang van de demodulator wijkt dan af van 0 V en deze restspanning kan gebruikt worden voor het opbouwen van een automatische frequentie correctie AFC, die in een van de volgende paragrafen nader wordt toegelicht.

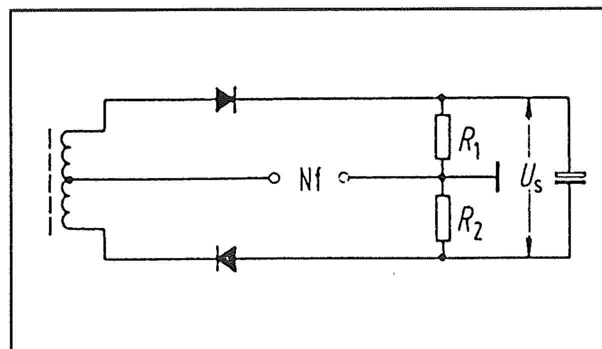
De ratio-demodulator

De ratio-demodulator is een verdere ontwikkeling van de Foster-Seeley demodulator. Het voordeel van deze schakeling is dat er een automatische begrenzing van het MF-signaal wordt toegepast, zodat deze schakelfunctie niet meer in de MF-versterker moet worden ingebouwd.



Figuur 5/2.1.10-6: Het praktische schema van een ratio-demodulator.

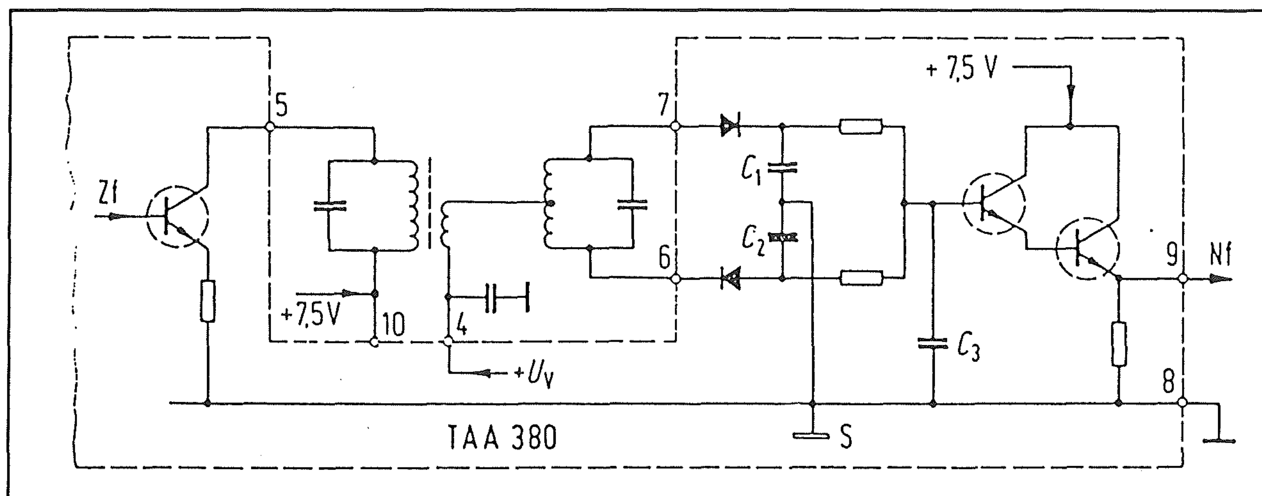
Het basisschema van een ratio-demodulator is getekend in figuur 5/2.1.10-6. Het voornaamste verschil met de Foster-Seeley demodulator is dat beide dioden tegengesteld geschakeld zijn. De door de diode gedemoduleerde spanningen staan dus nu in serie over de weerstanden R1 en R2 en worden bij elkaar opgeteld in plaats van elkaar afgetrokken. Over de twee weerstanden is een extra condensator geschakeld met een grote capaciteit, bijvoorbeeld een grote elco. Deze grote condensator is verantwoordelijk voor het onderdrukken van amplitudeschommelingen in het MF-signaal en zorgt dus voor de noodzakelijke begrenzing van het signaal. Als de MF-frequentie gelijk is aan de resonantiefrequentie van het filter A+B, dan zullen beide secundaire spanningen weer in fase zijn. Over de twee weerstanden worden identieke spanningen opgebouwd, die nu echter dezelfde polariteit hebben en bij elkaar opgeteld worden. Deze somspanning laadt de grote elco op. Hoe het LF-signaal ontstaat bij modulatie kan het best toegelicht worden aan de hand van figuur 5/2.1.10-7, waar de schakeling iets anders is getekend. Men herkent nu duidelijk een brugstructuur, waarbij de LF-informatie van een van de diagonalen van de brug wordt afgenomen.



Figuur 5/2.1.10-7: De werking van de ratio-demodulator toegelicht aan de hand van een vereenvoudigd schema.

Bij $f_{FM} = f_o$ staan over beide weerstanden even grote spanningen, zodat de brug in evenwicht is en er geen spanningsverschil aanwezig is tussen de twee LF-aansluitpunten. Bij afwijkende MF-frequentie zijn de spanningen over beide weerstanden niet meer even groot. De brug verliest haar evenwicht met als gevolg dat tussen de twee aansluitingen van de LF-diagonaal een spanningsverschil ontstaat.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.10-8: Een praktisch schema van een geïntegreerde ratio-demodulator rond de TAA 380.

Aan de hand van de vereenvoudigde brugschakeling is ook de werking van de begrenzing te begrijpen. Als de demodulator met een constant signaal wordt gestuurd zal de elco tot een constante spanning opladen. Dat is de evenwichtsituatie. Over de dioden staat een bepaalde, kleine spanning.

Als echter de MF-versterker door een AM-storing een veel grotere spanning levert, dan zal de spanning over de dioden stijgen. De inwendige weerstanden van deze onderdelen neemt af, met als gevolg dat de elco opeens via twee lage impedanties over de secundaire wikkelingen van de spoel komt te staan.

Door deze capacitieve belasting wordt de spoel uitermate gedempt, waardoor de amplitude-frequentie karakteristiek veel vlakker gaat verlopen.

Het gevolg is dat de AM-storing zo goed als volledig onderdrukt wordt en de werking van de demodulator niet wordt verstoord.

Een heleboel MF-IC's voor FM-ontvangst hebben een ingebouwde ratio-demodulator aan boord.

Als voorbeeld wordt in figuur 5/2.1.10-8 het schema gegeven van de inwendige schakeling van de TAA 380. Dit IC bevat een MF-versterker en alle onderdelen voor een ratio-demodulator, behalve uiteraard de spoelen. Wat ontbreekt in dit schema is de grote elco over de detectieweerstanden. Deze is hier niet noodzakelijk vanwege de grote versterking van de MF-trappen.

Na de detectieweerstanden volgt een LF-buffer die als Darlington is uitgevoerd.

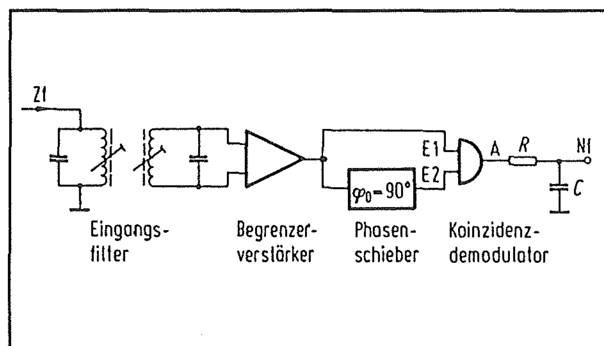
De coïncidentie demodulator

Ook dit schakelprincipe heeft verschillende benamingen:

- produkt demodulator;
- quadratuur demodulator;
- φ-demodulator.

Basisschakeling van de coïncidentie demodulator is een eenvoudige AND-poort. In de praktijk wordt deze poort samengesteld door twee transistoren in serie te schakelen en de twee ingangssignalen aan de bieden aan de basissen. Het blokschema van de coïncidentie demodulator is getekend in figuur 5/2.1.10-9.

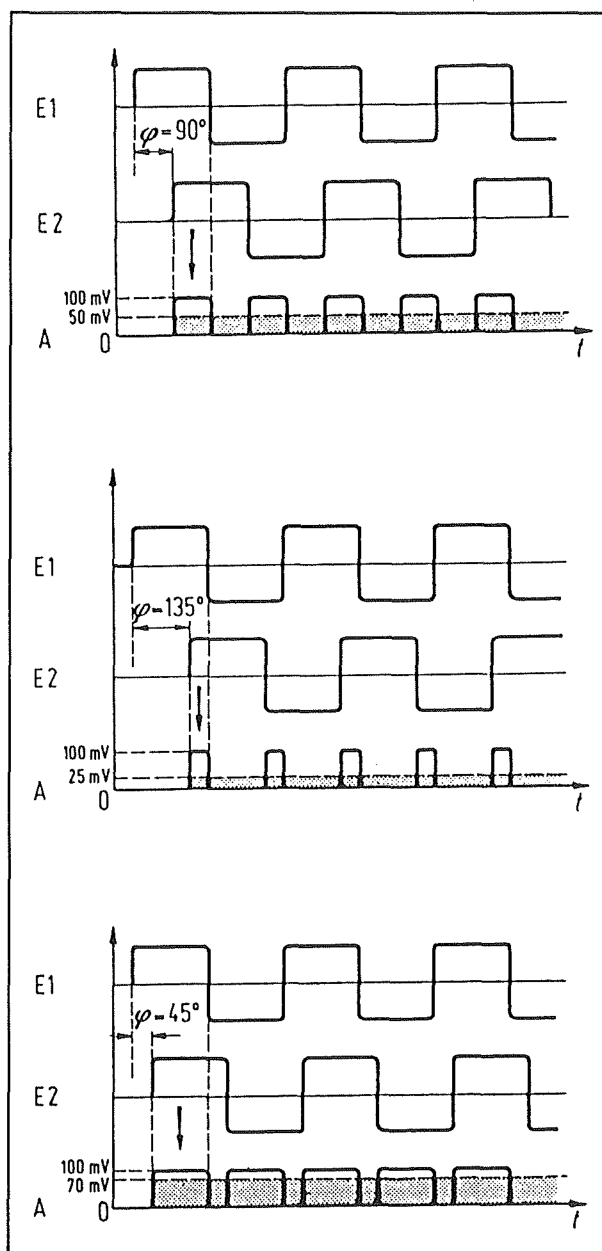
2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.10-9: Het blokschema van een coïncidentie demodulator.

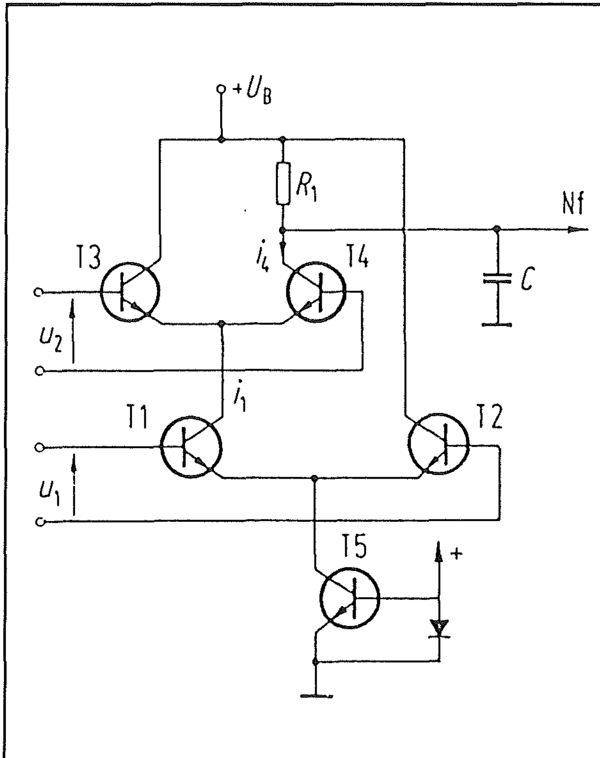
Het MF-signaal gaat eerst naar een begrenzer, waar het signaal wordt omgezet in een rechthoekig verlopende spanning. Een van de ingangen van de AND-poort is rechtstreeks met dit signaal verbonden, de andere ingang via een frequentiegevoelige faseverschuiver. Voor de MF-frequentie van 10,7 MHz bedraagt de faseverschuiving van dit netwerk precies 90°. Voor hogere of lagere frequenties zal de faseverschuiving afwijken van 90°. De uitgang van de poort gaat naar een eenvoudig RC laagdoorlaat filter.

De werking van de schakeling wordt toegelicht aan de hand van de grafieken in figuur 5/2.1.10-10.
Als $f_{MF} = f_o$ bedraagt de faseverschuiving tussen beide AND-ingangen precies 90° met als gevolg dat de uitgang van de poort een tijdsymmetrisch rechthoekvormig signaal aflevert met de dubbele frequentie. Het LF-filter zal de gemiddelde gelijkspanning uit dit signaal afleiden, een spanning die precies gelijk is aan de helft van de amplitude van de uitgangspulsen. Wijkt de frequentie van het MF-signaal af van f_o, dat zal de faseverschuiving groter of kleiner worden, met als logisch gevolg dat de uitgang van de AND-poort een niet tijdsymmetrisch signaal aflevert. Zijn de pulsjes smaller, dan zal de gemiddelde gelijkspanningswaarde ervan kleiner worden. Zijn de pulsjes breder, dan zal de gemiddelde gelijkspanningswaarde groter worden. Op deze manier wordt de onder de vorm van frequentiemodulatie aanwezige LF-informatie weer uit het signaal gefilterd.



Figuur 5/2.1.10-10: De werking van de coïncidentie demodulator grafisch toegelicht.

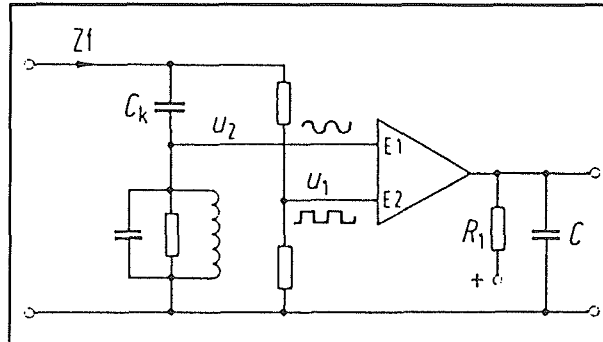
2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.10-11: Een geïntegreerde coïncidentie demodulator maakt gebruik van een dubbele verschilversterker.

De coïncidentie schakeling kan gemakkelijk geïntegreerd worden. In figuur 5/2.1.10-11 is als voorbeeld een schakeling getekend rond de ULN 2111. De AND-poort wordt opgebouwd onder de vorm van een dubbele verschilversterker. De som van de emitterstromen wordt door de stroombron rond T5 constant gehouden.

Het LF-signaal wordt afgetakt van de collector van T4. Er zal alleen een stroom i_4 door deze halfgeleider vloeien als de signaalspanning U_1 positief is en de signaalspanning u_2 negatief. Hoewel afwijkend van de standaard logische voorwaarde van een AND zal het duidelijk zijn dat ook deze definitie volledig aan de logica van een AND voldoet!



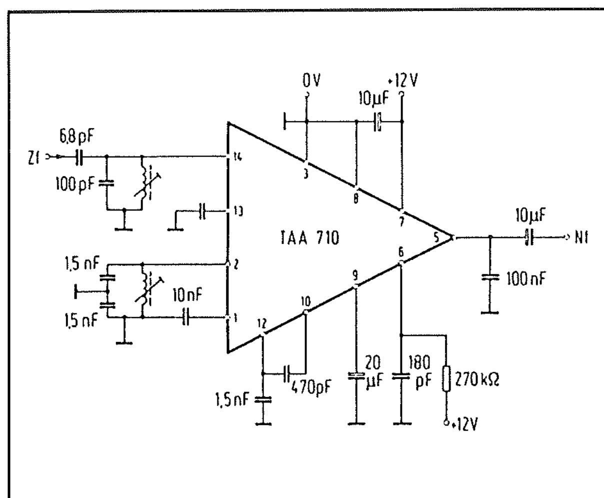
Figuur 5/2.1.10-12: Op deze manier worden de twee ingangssignalen voor de geïntegreerde coïncidentie demodulator gegenereerd.

In figuur 5/2.1.10-12 is de geïntegreerde schakeling opgenomen in een externe schakeling. De twee ingangssignalen worden opgewekt door de eerste gewoon resistief aan een van de ingangen aan de bieden en de tweede via een afgestemd filtertje, dat verantwoordelijk is voor de noodzakelijke fasedraaiïng. Hoewel de twee ingangssignalen niet precies voldoen aan de ideale signaalvormen die in figuur 5/2.1.10-10 werden verondersteld, blijkt dit geen invloed te hebben op de goede werking van de schakeling.

De tel-demodulator

De tel-demodulator werkt volgens hetzelfde principe als de capacitieve demodulator. Als nadeel van deze schakeling werd genoemd dat de stroom door de condensator maar erg weinig varieert over het volledige modulatie-bereik. Het gevolg was dat over de serieweerstand een onpraktisch lage spanning ontstaat. Dit bezwaar van de in wezen zeer ideale schakeling wordt bij de tel-demodulator opgelost door het MF-signaal aan een tweede mengtrap aan te bieden. De 10,7 MHz wordt in deze extra menger gemengd met

het signaal van een locale oscillator van bijvoorbeeld 10,9 MHz.
Het gevolg is dat de nieuwe MF-frequentie gelijk wordt aan 200 kHz, maar dat de frequentiezwaai op dat signaal als gevolg van de FM-modulatie nog wel even groot is. De frequentie van dit nieuwe signaal varieert dan bijvoorbeeld tussen 125 en 275 kHz en nu is het RC-netwerk wél in staat een praktisch bruikbare LF-spanning op te wekken.



Figuur 5/2.1.10-13: Een geïntegreerde tel-demodulator voor FM.

In figuur 5/2.1.10-13 is een geïntegreerde tel-demodulator getekend die is opgebouwd rond een TAA 710. Het MF-signaal gaat via een afgestemde kring naar pen 14 van het IC. De in het IC aanwezige locale oscillator wordt via de onderste afgestemde kring afgeregeld op 10,9 MHz. De overige onderdelen zijn alleen noodzakelijk voor het instellen en stabiliseren van de schakeling.

De FM-demodulator met PLL

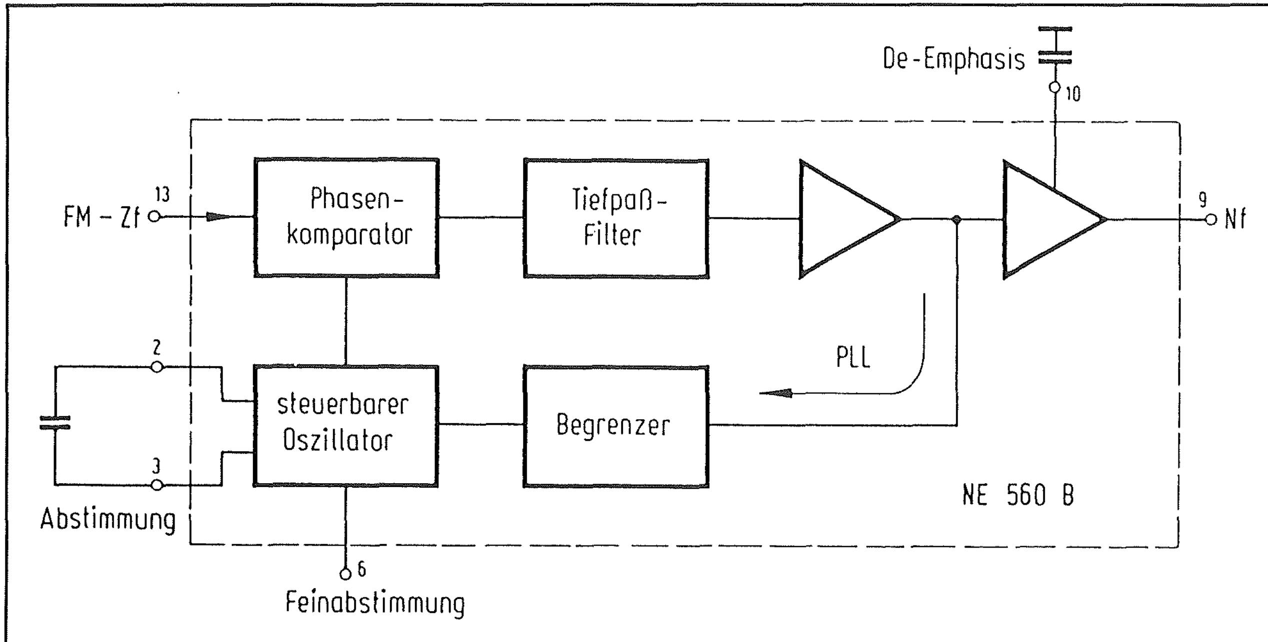
De meeste moderne geïntegreerde FM-demodulatoren zijn samengesteld met een PLL. Het principeschema van een dergelijke demodulator is getekend in figuur 5/2.1.10-14. De werking berust op niets anders dan het fundamentele werkingsprincipe van een PLL. De VCO van de PLL wordt afgeregeld op de MF-frequentie. Het begrensde MF-signaal gaat naar één ingang van de fasecomparator, de tweede ingang wordt gestuurd met het VCO-signaal. Als de zender niet gemoduleerd wordt, dan bestaat er geen frequentieverschil tussen beide ingangen van de fasecomparator. De uitgangsspanning is dan 0 V. Wordt de zender gemoduleerd, dan wijkt de frequentie af van de VCO-frequentie. De fase-comparator wekt nu, in samenwerking met het nageschakelde laagdoorlaatfilter, een positieve of negatieve regelspanning op, waarmee de frequentie van de VCO wordt bijgeregeld naar de nieuwe waarde van de MF-frequentie. Deze regelspanning is proportioneel met de frequentie-deviatie en is dus een maat voor de modulatiediepte. Na nog enige nabewerkingen kan het stuursignaal als LF-signaal afgenomen worden.

In figuur 5/2.1.10-15 is als voorbeeld het interne blokschema van de LM 1211 gegeven. Dat is een breedband demodulatorsysteem met een frequentiebereik tot 80 MHz. De VCO wordt ingesteld door de onderdelen tussen de pennen 5 en 6, het versterkte MF-signaal gaat vanaf uitgang 11 capacitief gekoppeld naar de tweede ingang (pen 9) van de fase-comparator.

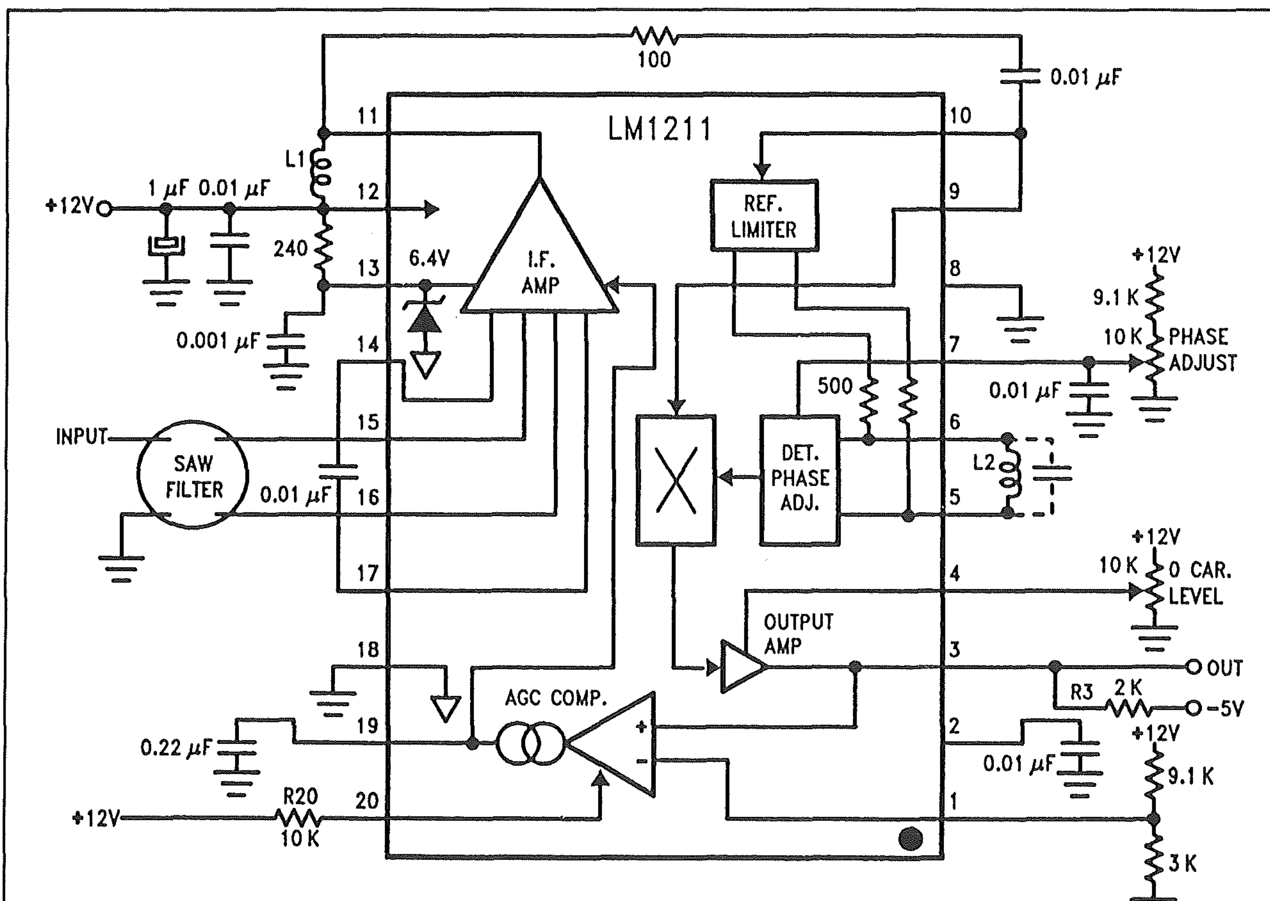
De automatische frequentie correctie

BIj de meeste FM-ontvangers wordt automatische frequentie correctie toegepast. Bij dit principe levert de FM-demodulator een regelsignaal, dat gebruikt wordt om de frequentie van de locale oscillator bij een eventuele drift weer bij te regelen.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.10-14: Het blokschema van een FM-demodulator met PLL.



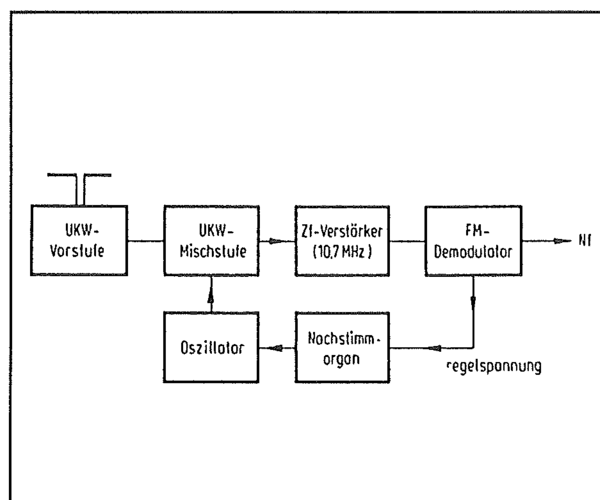
Figuur 5/2.1.10-15: Een voorbeeld van een geïntegreerde FM-demodulator met PLL.

Het gevolg is dat de ontvanger steeds goed op de zender afgestemd blijft. Waarom dit principe bij FM noodzakelijke is en maar zelden bij AM wordt toegepast is een gevolg van het grote frequentieverschil tussen de draaggolf van een AM- en een FM-zender. Bij het afstemmen op een FM-zender met een draaggolf frequentie van 100 MHz heeft een zeer kleine afwijking op de oscillatorfrequentie tot gevolg dat de zender niet meer goed wordt ontvangen. Bij de lagere AM-frequenties is dit punt niet zo kritisch.

Bovendien is de AFC een handig hulpmiddel bij het met de hand goed afstemmen op een FM-zender.

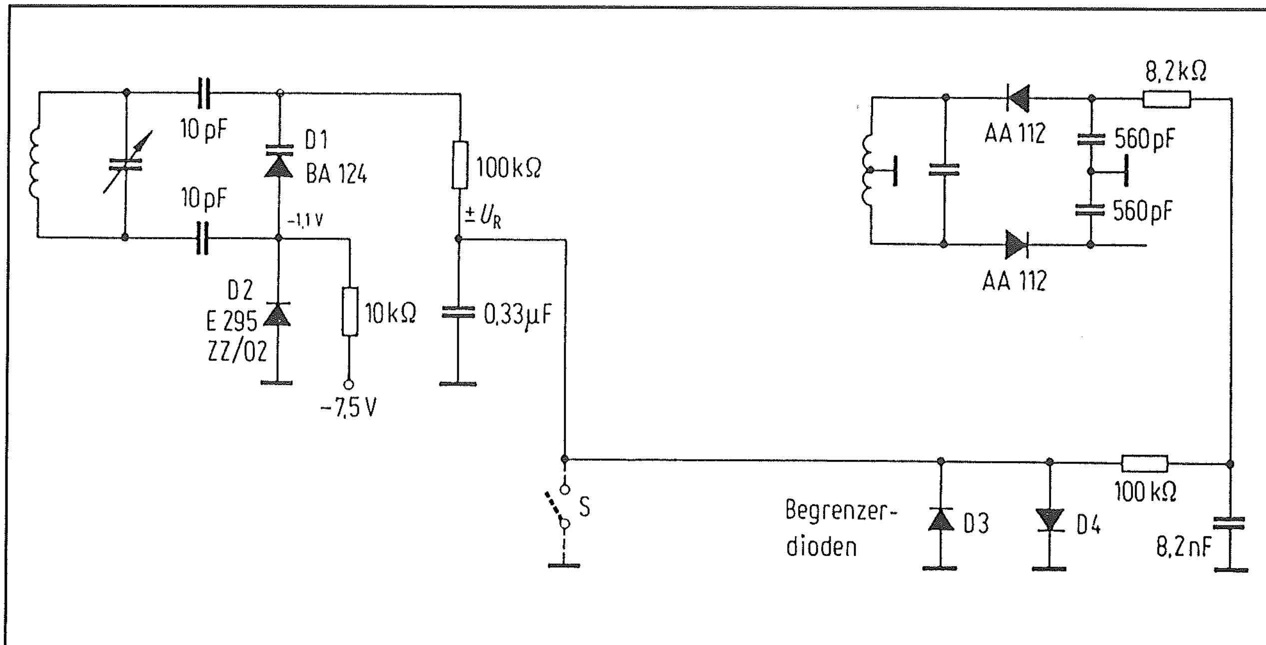
Het principe van AFC is geschetst in figuur 5/2.1.10-16. Uit de FM-demodulator wordt een regelspanning afgeleid die 0 V bedraagt als de ontvanger scherp op de zender is afgestemd. Is dat niet het geval, dan zal deze regelspanning positief of negatief zijn. Deze regelspanning gaat via een hulpschakeling naar de locale oscillator en zal daar met behulp van varicap's de frequentie van de oscillator zodanig bijregelen dat de ontvanger scherp afgestemd wordt.

De werking van de AFC berust op de in figuur 5/2.1.10-5 getekende transferkarakteristiek van een FM-demodulator.
Bij niet scherpe afstemming zal de MF-frequentie zonder modulatie iets afwijken in positieve of negatieve zin.
De gemiddelde gelijkspanning op de uitgang van de FM-demodulator heeft dan een van 0 V afwijkende waarde. Dat is een logisch gevolg van het in figuur 5/2.1.10-4 getekende vectordiagram van de FM-demodulator. De twee halve secundaire spanningen hebben dan een van 90° afwijkende faseverschuiving, met als gevolg dat de detector uit evenwicht komt en een restspanning opwekt op zijn uitgang.



Figuur 5/2.1.10-16: Het principe van AFC.

In figuur 5/2.1.10-17 is een praktische schakeling getekend van een AFC-schakeling.
De regelspanning voor de AFC wordt van de ratio-demodulator afgetakt. De spanning gaat naar een filtertje om korte stoorpulsen te onderdrukken en naar een begrenzer, die het regelbereik beperkt. Zonder deze begrenzer zou de AFC tot gevolg hebben dat men niet zou kunnen afstemmen op een zwakke zender die naast een sterke zender ligt. Met de schakelaar S kan men de AFC desgewenst uitschakelen. De regelspanning gaat via de hoge weerstand van 100 kΩ naar de varicap diode D1, die via de condensatoren van 10 pF parallel geschakeld is aan de afstemkring van de locale oscillator. De weerstand van 10 kΩ zorgt voor een bias-spanning voor de varicap diode.
De schakeling heeft een vangbereik van ongeveer +/-250 kHz.



Figuur 5/2.1.10-17: Een praktische schakeling van een AFC.

5/2.1.11
De stereodecoder

Inleiding

Bij stereo-modulatie worden de twee stereosignalen L en R op een dusdanige manier op de draaggolf gemoduleerd dat deze signalen in de demodulator weer uit het gecombineerde signaal terug te winnen zijn. Maar bovendien is deze modulatie zo uitgevoerd dat het ook eenvoudig mogelijk is het somsignaal (L + R) te herwinnen. Op deze manier kan een stereosignaal gedemoduleerd worden in een mono-ontvanger (demodulatie van L + R) en in een stereo-ontvanger (demodulatie van L én R).

Het modulatie-signaal

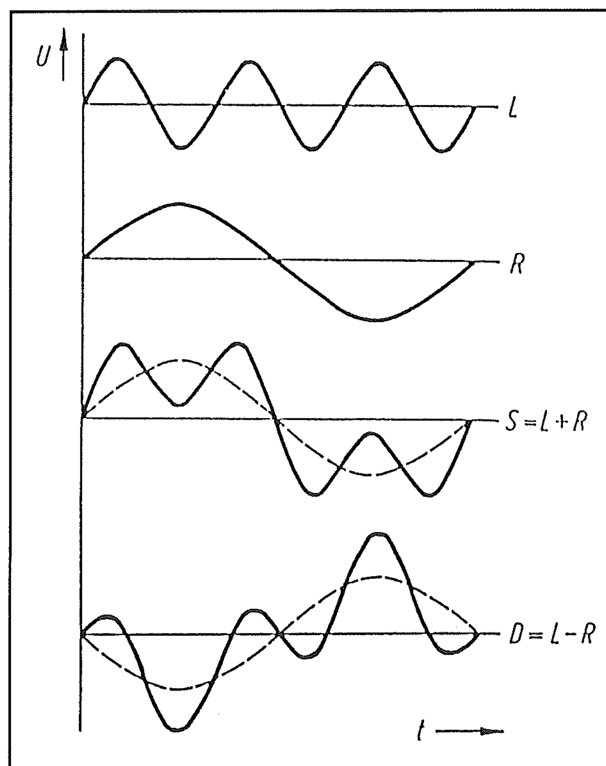
Eerst wordt de bandbreedte van de signalen L en R door middel van zeer scherpe filters begrensd tot 15 kHz aan de hoge kant en tot 30 Hz aan de lage kant. Dat is noodzakelijk omdat anders de bandbreedte van het volledig gemoduleerde signaal veel te groot zou worden. In de modulator worden nadien de originele geluidsignalen L en R omgezet in twee hulpsignalen, die gelijk zijn aan (L - R) en aan (L + R), zie figuur 5/2.1.11-1.

Het somsignaal (L + R) ontstaat door het linker en rechter signaal algebraïsch bij elkaar op te tellen. Daarvoor kan een eenvoudige mengschakeling gebruikt worden.

Het verschilsignaal (L - R) ontstaat door eerst een van de signalen 180° in fase te draaien en dit signaal nadien op dezelfde manier bij het andere op te tellen.

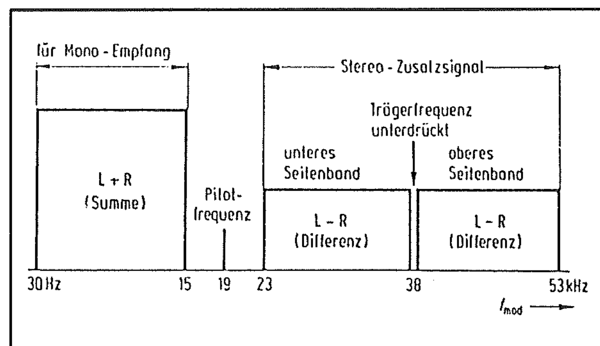
Het frequentiespectrum van het volledige modulatiesignaal is voorgesteld in figuur 5/2.1.11-2. Het (L - R) signaal wordt in amplitude gemoduleerd op een draaggolf met een frequentie van 38 kHz. Er ontstaan dan twee zijbanden die symmetrisch liggen rond de draaggolf. Dat is een alge-

mene eigenschap van amplitude modulatie. Nadien gaat dit AM-signaal door een zeer smalbandig bandsperfilter dat afgestemd is op 38 kHz. Dit filter verwijdert de draaggolf uit het gemoduleerde signaal. Er blijven dus alleen de twee (L-R) zijbanden over. Waarom dat gebeurt is niet zo eenvoudig te verklaren. Het heeft iets te maken met het uitsturingsbereik van de zender.
De twee zijbanden bestrijken frequentiegebieden van respectievelijk 23 kHz tot 37,97 kHz en van 38,03 kHz tot 53 kHz. Uit deze cijfers blijkt duidelijk hoe steil het bandsperfilter moet zijn!



Figuur 5/2.1.11-1: Het somsignaal (L + R) en het verschilsignaal (L - R) ontstaan door mengen en aftrekken van beide stereosignalen L en R.

De twee zijbanden worden opgeteld bij het somsignaal (L + R). Dat bestrijkt het frequentiespectrum van 30 Hz tot 15 kHz. Tussen beide signalen is dus een "gat" in het frequentiespectrum aanwezig dat zich uitstrekt van 15 kHz tot 23 kHz.



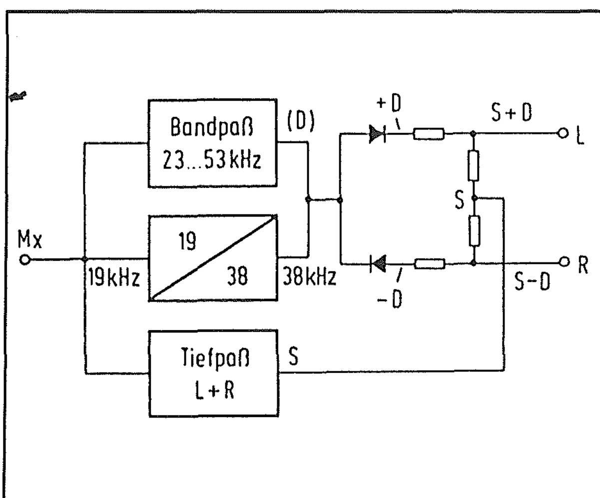
Figuur 5/2.1.11-2: Het volledige frequentiespectrum van een stereo-gemoduleerd signaal.

Tot slot wordt er in het genoemde "gat" nog een sinusoidaal signaaltje met een frequentie van 19 kHz geplaatst. De frequentie van dit signaal is de helft van de frequentie van de onderdrukte draaggolf van 38 kHz. Dit signaal is in de stereodemodulator noodzakelijk voor het herwinnen van de draaggolf. Dit 19 kHz signaal noemt men de piloottoon. Behalve voor het herwinnen van de draaggolf wordt dit signaaltje ook nog gebruikt om de gebruiker te melden dat er een stereogemoduleerd signaal wordt ontvangen.
De vier signalen, te weten:
- het (L + R)-signaal;
- de piloottoon van 19 kHz;
- de onderste zijband van het (L - R) signaal;
- de bovenste zijband van het (L - R) signaal;

worden met elkaar gemengd en in frequentie gemoduleerd op een HF-draaggolf. Dit volledige signaal wordt ook wel eens het multiplex-signaal, afgekort tot Mx, genoemd.

Het volledige stereosignaal heeft dus een bandbreedte van 30 Hz tot 53 kHz en is daarmee heel wat breedbandiger dan een normaal monosignaal! Vandaar dat er aan de ontvangstzijde heel hoge eisen worden gesteld aan de bandbreedte van de middenfrequent-versterker.

In de FM-ontvanger wordt het stereogemoduleerde FM-signaal ontvangen, versterkt en begrensd. Nadien wordt dit signaal aan een gewone, maar wel zeer breedbandige FM-demodulator aangeboden die de LF-informatie uit de draaggolf haalt.
Bij mono-ontvangst gaat het gemoduleerde signaal door een scherp afsnijdend laagdoorlaatfilter, dat alle frequenties van meer dan 15 kHz verwijdert. Wat na dit filter overblijft is het (L + R)-signaal, zodat de som van linker en rechter signaal als monosignaal ter beschikking staat.
Bij stereo-ontvangst gaat het gemoduleerde signaal, met de in figuur 5/2.1.11-2 getekende samenstelling, naar een speciale demodulator, die er de originele L- en R-signalen uit afleidt.



Figuur 5/2.1.11-3: Het blokschema van een matrix-demodulator.

Hoewel er verschillende principes zijn ontwikkeld om de L en R signalen te recupereren, maakt men in de praktijk meestal gebruik van:
- de matrix-demodulator;
- de multiplex-demodulator.

De matrix-demodulator
Het principe van de matrix-demodulator is getekend in figuur 5/2.1.11-3.

Het van de FM-demodulator komende multiplex-signaal Mx wordt in eerste instantie ontleed in zijn drie samenstellende componenten.
Door middel van een steil laagdoorlaatfilter wordt het som-signaal S = (L + R) uitgefilterd. Hetzelfde gebeurt met behulp van een banddoorlaatfilter met het verschilsignaal D = (L - R). Tot slot wordt de 19 kHz piloottoon uitgefilterd, alweer met een scherp banddoorlaatfilter.
De piloottoon wordt in een frequentieverdubbelaar omgezet in een signaal met een frequentie van 38 kHz. Dat gebeurt door middel van een diodeschakeling, die zowel de negatieve als de positieve alternantie van het 19 kHz signaal gelijkricht. Het gelijkgerichte signaal heeft dan uiteraard de dubbele frequentie en uit dit signaal kan men een mooie sinus van 38 kHz afleiden met een bandfilter.
Dit signaal wordt gemengd met het verschilsignaal D, zodat weer een amplitude gemoduleerd signaal ontstaat met een draaggolffrequentie van 38 kHz. Dit signaal wordt vervolgens toegevoerd aan twee AM-demodulatoren. De dioden van deze modulatoren zijn echter tegengesteld gepoold.
Deze halen de LF-informatie D uit de draaggolf, met als gevolg dat na de dioden twee gedemoduleerde signalen +D en -D met tegengestelde polariteit ontstaan.

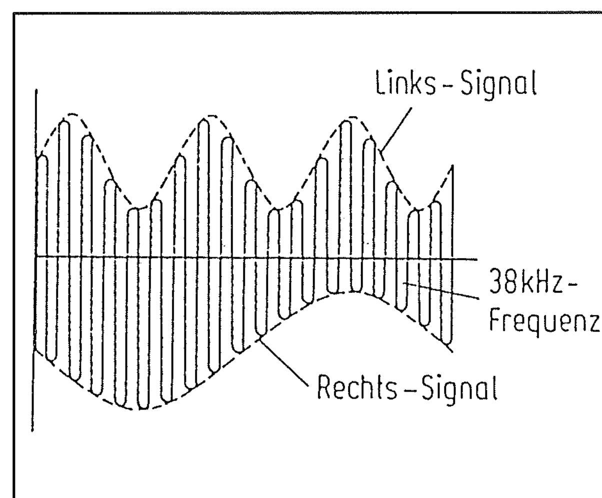
2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers

Tussen de twee dioden is een weerstandnetwerk opgenomen, bestaande uit vier in brug geschakelde weerstanden. Het somsignaal S wordt op één knooppunt van dit netwerk aangeboden.

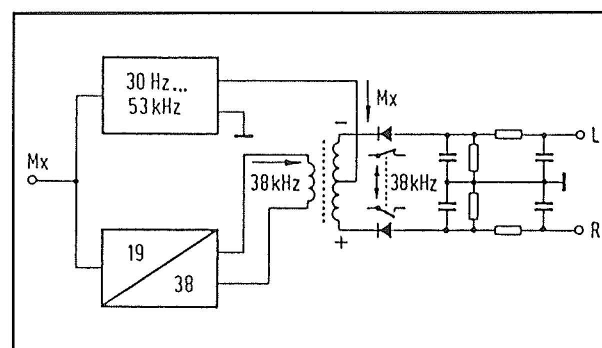
De werking van de schakeling kan alleen begrepen worden door enige eenvoudige berekeningen te maken.
De bovenste diode levert het gedemoduleerde positieve somsignaal +D. De onderste diode levert hetzelfde signaal, maar nu met negatieve polariteit.
Met kan dus besluiten:
+D = L - R
-D = -(L - R) = R - L.
De vier weerstanden kunnen opgevat worden als eenvoudige resistieve mengers, die de signalen +D en -D mengen met het signaal S, gelijk aan (L + R).
Op het bovenste knooppunt van de vier weerstanden ontstaat dus een signaal:
S + (+D);
op het onderste knooppunt een signaal:
S + (-D).
Vult men de berekende waarden voor S, +D en -D in deze formules in, dan ontstaat:
S + (+D) = (L + R) + (L - R) = 2L
S + (-D) = (L + R) + (R - L) = 2R.
De twee signalen L en R verschijnen dus op de bovenste en onderste knooppunten van de weerstandsmenger!

De multiplex-demodulator
Als men de herwonnen draaggolf van 38 kHz mengt met het volledige multiplex-signaal, met een bandbreedte van 30 Hz tot 53 kHz, dan ontstaat een heel vreemd mengproduct. Hoe dat product er uit ziet is getekend in figuur 5/2.1.11-4.

Hoe dat signaal ontstaat is niet fysisch aan te tonen. Alleen door een flink stuk ingewikkelde wiskunde op het principe los te laten kan men aantonen dat wat getekend is inderdaad ontstaat.
Hoe dan ook, duidelijk blijkt dat het resultaat er uit ziet als een soort in amplitude gemoduleerd signaal op een draaggolf van 38 kHz, waarbij de omhullende echter niet symmetrisch is, maar aan de bovenzijde het linker signaal volgt en aan de onderzijde het rechter signaal.



Figuur 5/2.1.11-4: Het resultaat van het mengen van de herwonnen 38 kHz draaggolf met het gehele Mx-signaal.



Figuur 5/2.1.11-5: De fundamentele schakeling van een multiplex-demodulator.

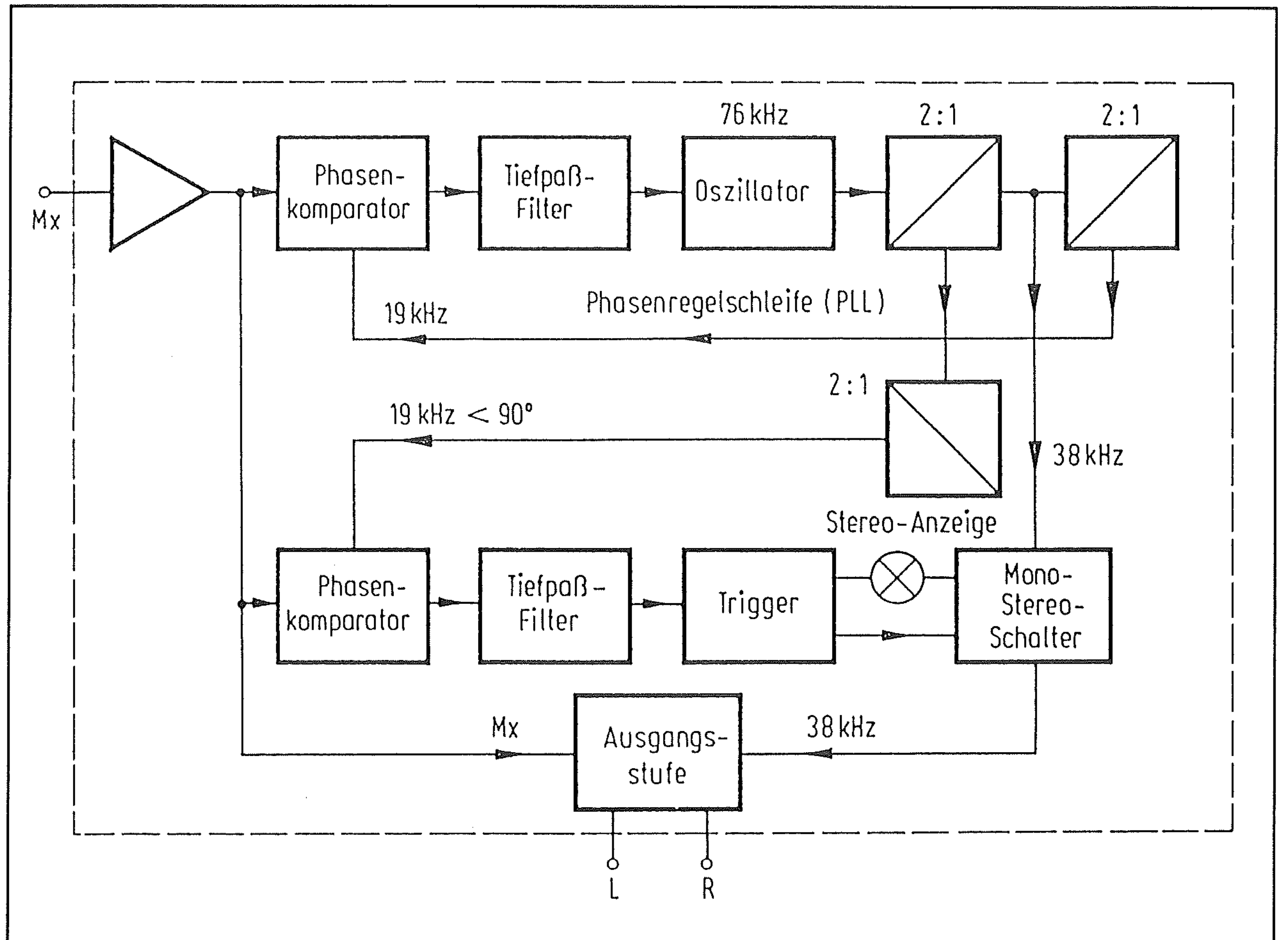
Dank zij dit merkwaardige resultaat kan men op een heel eenvoudige manier de

beide LF-signalen uit het mengproduct afleiden. Het volstaat immers de twee omhullende vormen afzonderlijk gelijk te richten op het ritme van de polariteit van het 38 kHz signaal.

Is dit signaal positief, dan ontstaat na de gelijkrichting het linker signaal. Is de draaggolf negatief, dan ontstaat het rechter signaal.
Hoe dat kan volgt uit figuur 5/2.1.11-5. De uit de piloottoon herwonnen 38 kHz draaggolf wordt flink versterkt, zodat er een soort blokspanning ontstaat. Deze blokspanning wordt via een trafo aangeboden aan de demodulator. Het volledige multiplex-signaal gaat naar de twee secundaire wikkelingen. Iedere secundaire wikkeling is afgesloten met een gewone AM-demodulator, samengesteld uit diode, condensator en ontlaadweerstand. De dioden kunnen alleen demoduleren als de spanning op de anode positief is ten opzichte van de spanning op de kathode. Daarvoor wordt het 38 kHz signaal gebruikt. De dioden worden als het ware afwisselend ingeschakeld door dit 38 kHz signaal, met als gevolg dat de bovenste diode alleen de bovenste omhullende demoduleert (linker signaal) en de onderste diode alleen de onderste omhullende (rechter signaal).
Doordat de twee dioden als schakelaars werken zullen de linker en rechter signalen nog veel restanten van het 38 kHz signaal bevatten. Vandaar dat er na de demodulator nog eens twee RC-filtertjes zijn opgenomen, die deze restanten uitfilteren.

De geïntegreerde stereodemodulator
In moderne FM-ontvangers zijn de stereodemodulatoren uitgevoerd onder de vorm van een IC. De meeste IC's werken volgens het PLL-principe. Toch heeft dit principe in feite niets te maken met het eigenlijke demodulatorproces. Dat wordt nog steeds opgelost met een eenvoudige diodeschakeling volgens het multiplex-principe. Het phase locked loop procédé wordt alleen gebruikt om zonder gebruik te moeten maken van dure en grote spoelen de 38 kHz draaggolf uit de 19 kHz piloottoon af te leiden. Het principe is heel eenvoudig.
In de demodulator is een spanningsgestuurde oscillator aanwezig, die genereert op een veelvoud van de 19 kHz piloottoon frequentie. In de meeste gevallen wordt gebruik gemaakt van een signaal met een frequentie van 76 kHz. Deze frequentie wordt door middel van twee flip-flop's door vier gedeeld, zodat weer een signaal met een frequentie van 19 kHz ontstaat. Dit signaal wordt in de PLL vergeleken met de piloottoon uit het Mx-signaal. De PLL zal ervoor zorgen dat zowel de frequentie als de fase van beide signalen aan elkaar gelijk worden. De PLL wekt immers een regelsignaal op, dat de frequentie en de fase van de spanningsgestuurde oscillator regelt. Na de eerste flip-flop ontstaat een signaal met een frequentie van 38 kHz. Deze herwonnen draaggolf wordt, samen met het volledige Mx-signaal, aangeboden aan een multiplex demodulator. Deze schakeling genereert op de reeds beschreven manier de L en R signalen.
Vaak is nog een tweede PLL aanwezig, die gebruikt wordt voor het besturen van de stereo-indicatie (een gloeilampje of een LED) en een eventueel aanwezige ingebouwde stereo/mono omschakelaar.

In figuur 5/2.1.11-6 is als voorbeeld het interne blokschema getekend van een XR 1310.



Figuur 5/2.1.11-6: Het blokschema van de XR 1310, een geïntegreerde stereodemodulator die werkt met een ingebouwde PLL en een multiplex demodulator.

Het grootste gedeelte van het blokschema houdt zich alleen bezig met het regenereren van het 38 kHz signaal, de sturing van de stereo-indicator (een lampje) en de ingebouwde elektronische mono-stereo schakelaar. De eigenlijke stereodemodulator is het blokje "Ausgangs-stufe". Aan dit blokje worden de 38 kHz draaggolf en het volledige Mx-signaal aangeboden en het zal dus duidelijk zijn dat deze trap werkt volgens het beschreven multiplex-principe.

Een praktisch voorbeeld

Hoezeer de moderne integratie is gevorderd blijkt uit het praktische schema van figuur 5/2.1.11-7. De TEA 1330 is een moderne stereodecoder van Philips die slechts 14 externe componenten nodig heeft.

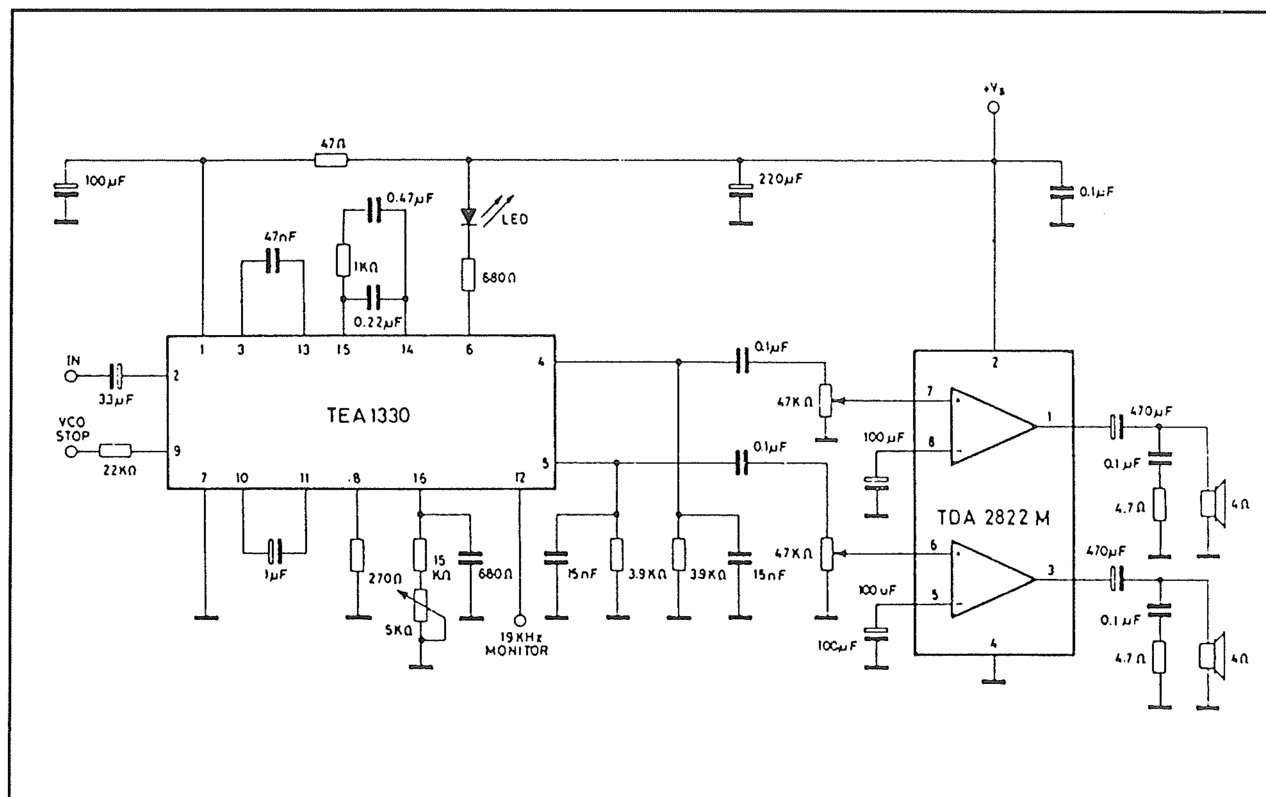
Het gemoduleerde Mx-signaal wordt aangeboden aan pen 2.

Tussen pen 16 en de massa staat een potentiometertje, waarmee men de eigen frequentie van de VCO op de voorgeschreven waarde kan afregelen.

De gedemoduleerde R- en L-signalen kunnen afgenomen worden van de pennen 4 en 5 en kunnen via RC-filtertjes rechtstreeks naar de eindversterker.

Deze filtertjes verzorgen de compensatie van de pre-emphase in de zender.

2.1 Samenstelling en werking van radio-ontvangers



Figuur 5/2.1.11-7: Een moderne stereodecoder van Philips.

De pre- en de de-emphase

Bij het uitzenden van een FM-signaal worden namelijk de hoge frequenties van de geluidsband extra versterkt. Dit heeft te maken met het onderdrukken van ruis bij de ontvangst. Bij het ontvangen en demoduleren van een dergelijk signaal moet deze pre-emphase weer gecompenseerd worden. Daarvoor dienen de kleine RC-filtertjes, die men op de uitgang van iedere mono FM-demodulator of stereo-decoder aantreft. Deze filtertjes noemt men de de-emphase filtertjes.

5/2.1.12

De LF-versterker

De LF-versterker vormt het laatste onderdeel van een radio-ontvanger. Het zal duidelijk zijn dat hieraan geen bijzondere eisen worden gesteld. In de meeste gevallen wordt gebruik gemaakt van geïntegreerde voor- en eindversterkers, die volgens de algemene principes van geluidsversterkers werken en hier niet behandeld worden.

5/2.2

Foutzoeken in radio-ontvangers

Er bestaan verschillende methodieken om op een logische en succesvolle manier fouten in radio-ontvangers en aanverwante apparaten op te sporen De ene manier is niet beter dan de andere, in de praktijk zal iedereen zijn eigen systeem ontwikkelen. Toch kan men enige algemene richtlijnen geven, een soort gids die ons op een logische manier door de verschillende blokken van een radio-ontvanger leidt.

5/2.2.1
Foutzoek-methodes

Er geldt een algemene regelvoor het foutzoeken in gelijk welk elektronisch systeem. Begin er niet aan als men niet ten minste enige algemene achtergrondkennis heeft over de werking van de schakelingen die in het systeem voorkomen. In de goede, oude buizen-tijd kon men nog wel zomaar wat aan rotzooien. Als men iets fout deed, ging de anode of een rooster van een buis gloeien en men wist onmiddellijk dat men iets had gedaan dat de schakeling niet op prijs stelde. Nu echter merkt men niets van een foute handeling, behalve dan dat het apparaat helemaal defect is en geen zuchtje geluid produceert.

Fouten kondigen zich aan doordat er iets vreemds te zien of te horen is. Het fouten opzoeken start dan ook steeds met een grondige visuele en auditieve controle van het apparaat. Wat voor soort vervorming kan men horen? Geroutineerde reparateurs/trices kunnen vaak alleen aan het geluid onmiddellijk vaststellen waar er iets fout zit. Zo zal een defect in de eindversterkers heel anders klinken dan een fout in de ruisonderdrukker, om maar wat te noemen. Gedegenereerde condensatoren in de voeding veroorzaken een typisch soort vervorming in het geluid.
Helaas kan men dit soort ervaringen in geen enkel schriftelijk medium vastleggen. Doen, doen en nog eens doen is het enige advies dat gegeven kan worden.

Net zo veelzeggend zijn optische waarnemingen in de ingewanden van het apparaat, zoals verbrande weerstanden, lekkende condensatoren en door de hitte gebarsten IC-behuizingen. Men is er dan in ieder geval zeker van dat deze onderdelen vervangen moeten worden, maar het is alles behalve zeker dat deze onderdelen ook de hoofd-oorzaak zijn van het defect. Vaak kan een IC verbranden door een fout in de voeding, bijvoorbeeld een stabilisator die is doorgeslagen. Na vervanging van het IC en aanschakelen van het apparaat zal de vervanger het lot van zijn voorganger beschoren zijn.

5/2.2.2
Foutbronnen

Overmatige warmte-ontwikkeling is een van de belangrijkste oorzaken van sto-

2.2 Foutzoeken in radio-ontvangers

ring en destructie in radio-ontvangers. Dat geldt nog meer voor volledige ontvangers, apparaten die dus zijn voorzien van twee laagfrequent eindtrappen. Door het voortdurend opwarmen en afkoelen van onderdelen kunnen bijvoorbeeld onderbrekingen of kortsluitingen ontstaan in vermogen-transistoren en drivers. Er kunnen microscopische scheurtjes optreden in de behuizing van elektrolytische condensatoren, waardoor bij de volgende opwarmings-syclus elektroliet naar buiten wordt geperst en het onderdeel uitdroogt.

De miniaturisatie van onderdelen heeft tot gevolg dat deze minder goed bestand zijn tegen te grote spanningen. Nu moet men daarbij niet alleen denken aan langdurige overbelasting, bijvoorbeeld als gevolg van het doorslaan van een stabilisator. Ook zeer kortstondige spanningspieken die bijvoorbeeld op de voedingslijnen ontstaan als er stoorpieken op de netspanning voorkomen, kunnen miniatuur elektrolytische of tantaal condensatoren laten doorslaan. De ellende daarbij is dat er vaak zogenaamde fijnsluiting ontstaat, een microscopisch kleine doorslag van de isolatie-laag tussen beide elektroden. Dit merkt men niet aan het onderdeel, het enige gevolg is dat de isolatie-weerstand behoorlijk gaat dalen en dat daardoor instelspanningen verlopen.

Moderne geïntegreerde schakelingen, die het halve blokschema van een superheterodyne-ontvanger omvatten, zijn opgebouwd uit honderden transistoren en weerstanden. Het zal duidelijk zijn dat de toenemende integratie-graad gepaard gaat met een toenemende kans op uitval.
Onderdelen die het ook vaak begeven zijn de hoofdgelijkrichters van de voeding. Moderne ontvangers bezitten forse eindtrappen en de piekstromen die door de luidsprekers vloeien kunnen op de lange duur tot degradatie van het gelijkrichtkristal leiden. De inwendige weerstand in sper gaat dalen en de voeding werkt niet meer zoals het hoort.

Tot slot mogen de mechanische onderdelen niet ontbreken in ons verdachtenlijstje. Hoewel er steeds minder mechanische onderdelen gebruikt worden en vaak de oude mechanische schakelaars vervangen worden door elektronische systemen heeft de gemiddelde radio-ontvanger toch nog enige tientallen mechanische, in de signaalloop opgenomen onderdelen. Denk maar eens aan alle chassisdelen en stekerbussen op de achterzijde van het apparaat. Storingsbron nummer een! Weliswaar kan men connectoren in principe vrij betrouwbaar maken, bijvoorbeeld door zelfreinigende contacten toe te passen en alle pennen te vergulden. Deze connectoren zijn echter zo duur dat geen enkele fabrikant het in zijn hoofd haalt deze te gebruiken in apparatuur die bestemd is voor de consumenten-markt. Dus treft men meestal zeer goedkope tulp-stekertjes of kunststof DIN-bussen aan, die vaak al uit elkaar vallen als men er te doordringend naar kijkt. Afgezien van de mechanische instabiliteit leiden deze onderdelen ook nog eens aan een niet te onderdrukken contact-vervulling. Zou de zure regen daar iets mee te maken hebben? Talrijke verfijnde onderzoekingen in het laboratorium hebben uitgewezen dat bijvoorbeeld vervuilde pennen van luidsprekerconnectoren tot een duidelijk hoorbare degradatie van de geluids-kwaliteit kunnen voeren.
Ook in de moderne elektronica is de bus

contact-spray nog steeds een van de belangrijkste bondgenoten in de strijd tegen gekraak en geruis. Een bondgenoot die echter met het nodige beleid moet worden ingezet.

5/2.2.3 Voorbereidende werkzaamheden

Net zoals een chirurg niet onmiddellijk naar het mes grijpt als er op de eerste hulp post van een ziekenhuis een slachtoffer van een aanrijding wordt binnen gebracht, zal de ervaren reparateur ook niet onmiddellijk de soldeerbout warm stoken.
Het eerste onderzoek is een grondige visuele controle van het slachtoffer. Hetgeen betekent dat men alle functies van het apparaat grondig uittest, dus alle knoppen in alle beschikbare standen zetten en steeds beoordelen of de geselecteerde functie het doet of niet. Op deze manier kan men meestal al een groffe afbakening maken van het deel uit het systeem waarin de fout zit. Als bijvoorbeeld wel het lampje gaat branden in de naald van de afstemschaal, maar er op geen enkel bereik iets te horen is, dan weet men zeker dat het netspannings-systeem wel in orde is maar of in de voeding of in de eindversterkers iets fout is. En omdat bovendien noch het linker noch het rechter kanaal het doen is het erg onwaarschijnlijk dat er in beide eindversterkers dezelfde fout aanwezig is. Logischerwijze zit de fout dus in de voeding.

Tweede stap is het aansluiten van het apparaat op een scheidings-trafo. Vele lezers zullen nu schamper lachen. Al tientallen wrakken opgekalefaterd en echt nog nooit behoefte gehad aan zo'n duur ding, meneertje! Tsja, wat doe je tegen zo'n stelligheid? Er nogmaals op wijzen dat het die tientallen + eende keer echt mis kan gaan en begrafenissen tegenwoordig duur zijn. Maar afgezien van het niet onbelangrijke veiligheids-aspect heeft het gebruik van een scheidings-trafo ook reparatietechnisch gezien een aantal voordelen. Zo kan men met een regelbare trafo de netspanning enigzins verhogen en gelijk maken aan de spanning die heerst in de streken waar het apparaat zijn woonst heeft. Bovendien zijn de meeste scheidingstrafo's uitgerust met een ampère- en of watt-meter en zijn deze meters zeer handig om de algemene vermogensopname van het apparaat te controleren.
Een watt-meter valt te verkiezen boven een ampère-meter omdat deze laatste bij sommige apparaten tamelijk in de war raakt door de vreemdsoortige methoden die men tegenwoordig toepast om lage gelijkspanningen rechtstreeks uit de 220 V~ af te leiden.

Na de visuele externe controle van het apparaat kan men de behuizing open schroeven een een kundige blik werpen op de staat van de elektronische ingewanden. Uiteraard is de netsteker verwijderd uit het stopcontact! De zaken waar men op moet letten zijn eigenlijk al opgesomd in de inleiding van dit hoofdstuk: elco's, verbrande weerstanden, gebarsten IC-behuizingen en doorgebrande zekeringen. Hoewel het wel niet vaak zal voorkomen is het toch verstandig ook na te kijken of er geen losse draden rondslingeren. Bij draagbare apparatuur kan het namelijk een zeldzame keer wel eens voorkomen dat door schokken en/trillingen een draadje net achter de soldeerlas afbreekt.

Heeft de visuele controle van de print(en) niets opgeleverd, dan zit er niets anders op dan het apparaat onder spanning te zetten

en echt actief fout te zoeken. Hoewel wij, dat zal inmiddels wel duidelijk zijn geworden, fervente voorstanders zijn van het gebruik van scheidingstransformatoren geven wij toch maar een aantal richtlijnen voor diegenen die absoluut weigeren zo'n levenreddend onderdeel aan te schaffen of zo weinig repareren dat de aanschaf van een trafo inderdaad wel erg onrendabel wordt. De meeste apparatuur is tegenwoordig uitgerust met een voedingstrafo, zodat men alleen moet oppassen in het primaire circuit van de schakeling: de netkabel, netschakelaar, primaire zekering en de primaire wikkeling van de trafo. Toch moet men bij apparaten waarbij alle onderdelen op een grote print zitten er terdege rekening mee houden dat de printsporen, die de netspanning voeren vaak op de gekste plaatsen op de print opduiken en men dus niet zomaar ondoordacht de print kan beetpakken.
Wie nog graag oude buizen-apparatuur onder handen neemt zal vaak in aanraking komen met apparaten zonder nettrafo, dus met rechtstreekse netvoeding. Het is dan zonder meer noodzakelijk met een spanningstester te controleren of het chassis van het apparaat met de fase of met de nul van het net verbonden is. Licht het neon-buisje op, dan moet men de steker omdraaien.

5/2.2.4
De meet- en signaal-methode

Bij het fout zoeken in actieve apparatuur kan men twee verschillende methoden onderscheiden, die zowel afzonderlijk als gezamenlijk kunnen worden toegepast:
- de meet-methode;
- de signaal-methode

Bij de meet-methode schakelt men universeelmeter en oscilloscoop in om spanningen, stromen en weerstanden te meten. Aan de hand van de gemeten waarden kan men met behulp van data-bladen van gebruikte onderdelen eǹ eventueel schema van het apparaat er vrij snel achter komen wat er aan de hand is. Hoewel deze methode het meest fundamenteel lijkt, zal men deze alleen met succes kunnen toepassen als men al weet waar de fout zich ongeveer bevindt. Het heeft namelijk absoluut geen zin in het wilde weg spanningen te gaan meten en signalen op het scherm van de scoop te zetten. Voor een allereerste controle kan men veel beter de signaal-methode gebruiken, omdat daarmee zeer snel de functie van de verschillende trappen te onderzoeken is.

Zoals de naam reeds doet vermoeden, schakelt men bij de signaal-methode een signaal in. Dat kan zowel een laagfrequent sinus zijn als een gemoduleerd HF-signaal.
In tegenstelling tot wat men zou kunnen denken, is het niet verstandig te beginnen met een signaal aan de antenne-ingang en de loop van dit signaal door de schakeling te volgen. Men kan veel beter van achter naar voor werken en dus starten met een sinus aan de ingang van de eindversterker(s) te leggen. Blijkt dit signaal onvervormd op de luidspreker-uitgang te verschijnen, dan verlegt met het test-signaal naar de ingang van de toonregeling of voorversterker. Het voordeel van deze volgorde is dat men start met de meest eenvoudige schakelingen, namelijk de laagfrequent blokken en naarmate men meer vertrouwd geraakt met het apparaat de meer ingewikkelde schakelingen onder handen neemt.
De signaal-methode wordt steeds nuttiger naarmate er meer geïntegreerde schakelingen in het apparaat worden ingezet.

IC's zijn zonder meer zeer nuttige onderdelen, maar lenen zich nauwelijks om spanningen, stromen en weerstanden aan te meten.

5/2.2.5
De spanningscontrole

De eigenschappen van een elektronische schakeling worden volledig bepaald door de spanningen, stromen en weerstanden die er in voorkomen. Door het nauwkeurig meten van deze drie grootheden kan men dus iedere fout, hoe complex ook, opsporen. Nu kan men het best spanningen meten. De meeste meetinstrumenten zijn nu eenmaal veel nauwkeuriger op hun spanningsbereiken dan op hun stroom- of weerstandsstanden. Maar bovendien kan men spanningen meten zonder in te grijpen in de schakeling, een voordeel dat niet opgaat voor stromen en weerstanden.
Bijzonder gebruikersvriendelijk zijn digitale instrumenten met automatische bereik-selectie, die tegenwoordig niet zo erg veel duurder zijn dan de soortgenoten met manuele bediening.

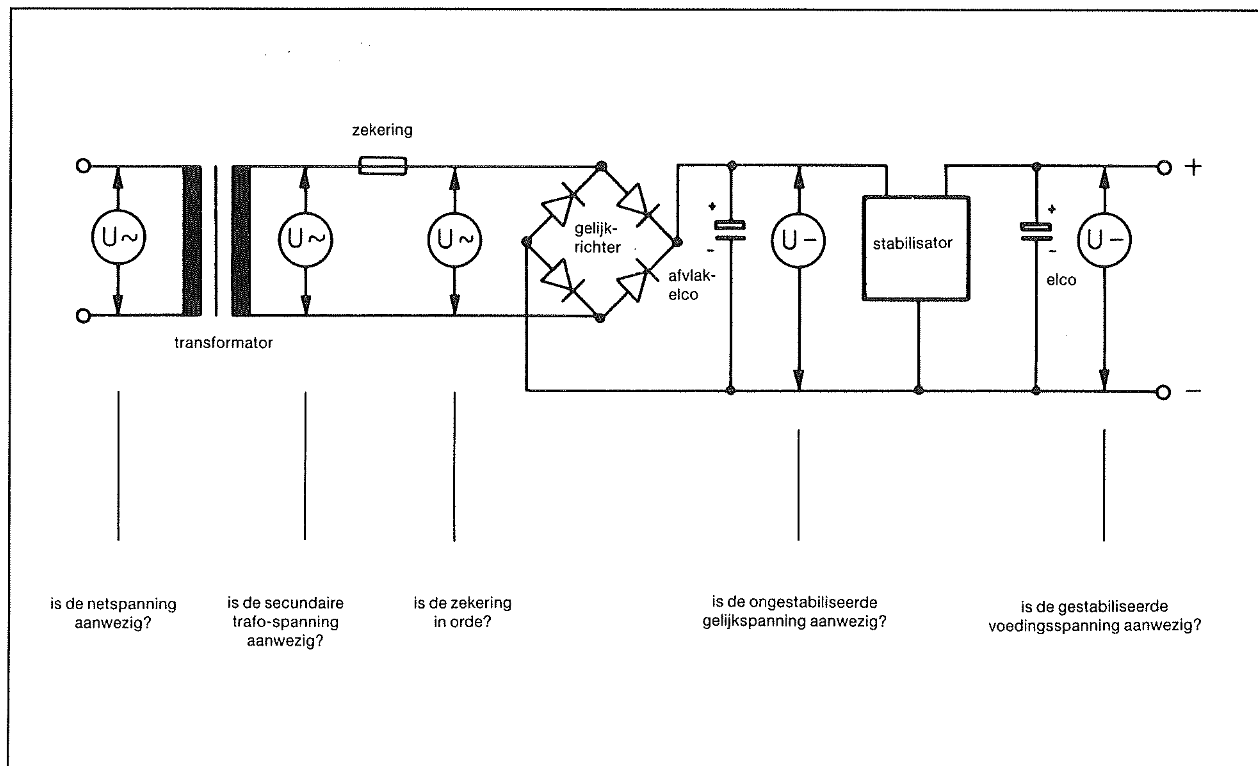
Alle spanningen in een schakeling worden steeds gemeten tegen een bepaalde referentie, de nulspanning. In de meeste gevallen gebruikt men het potentiaal van de massa of van de min van de batterij als referentie. Dit laatste geldt overigens alleen bij moderne apparaten. In oude draagbare transistor-ontvangers wil het nog wel eens voorkomen dat de plus aan de massa ligt en moet men uiteraard de plus als referentie nemen. Alle gemeten spanningen zullen dan negatief zijn. Een en ander is afhankelijk van het gebruik van NPN of PNP transistoren in de schakeling.

Bij het systematisch meten van spanningen gaat men steeds uit van de spanningsbron en werkt vandaar naar de verst van de bron gelegen schakelingen. Het eerste meetpunt is dus steeds de voeding of de batterij.

Een systematische manier om een gestabiliseerde voeding door te meten is geschetst in figuur 5/2.2.5-1. Eerst meet men of de netspanning aanwezig is op de aansluitpunten van de kabel. Nadien meet men na de zekering en de schakelaar. De laatste netspanningsmeting is over de primaire aansluitingen van de trafo.
Als alles tot zover in orde is meet men de secundaire spanning of spanningen van de trafo. Helaas hebben niet alle trafo's een duidelijk aansluit-schema in hun binnenzak zitten en zeker bij ingegoten merken type-loze transformatoren kan het tamelijk problematisch zijn om te ontdekken welke draadjes een bepaalde wikkeling naar buiten voeren. Vaak zal men het schema moeten ontrafelen door bijvoorbeeld te onderzoeken welke aansluitingen van de trafo naar de gelijkrichter gaan. Men is er dan in ieder geval zeker van dat men een secundaire wikkeling getraceerd heeft en door eliminatie van de geïdentificeerde aansluitingen zal men na niet al te lange tijd de geheimen van de trafo volledig blootgelegd hebben.

Men kan de meter overschakelen op gelijkspanning, want vanaf nu zal men voornamelijk gelijkspanningen moeten gaan meten. De eerste meting betreft de spanning na de gelijkrichter, die in de meeste gevallen rechtstreeks verbonden is met de afvlak-condensator van het apparaat. Deze is gemakkelijk te traceren, omdat het de grootste elco is die in de schakeling aanwezig is.
De volgende stap is het opsporen van de stabilisator. Ook al niet zo moeilijk want

2.2 Foutzoeken in radio-ontvangers



Figuur 5/2.2.5-1: Het op een logische wijze testen van een gestabiliseerde voeding met de universeelmeter.

een aansluiting van deze driepoot is rechtstreeks verbonden met de afvlakelco. De tweede gaat meestal naar de massa, de derde kan dus niet anders zijn dan de uitgang. Men meet de uitgangsspanning en deze moet met een maximale afwijking van 10% gelijk zijn aan de spanning die op het onderdeel vermeld staat.
Tot nu toe zijn wij ervan uitgegaan dat alle metingen voldoen aan de verwachtingen. Maar wat te doen als ergens een zeer vreemde waarde wordt gemeten?
Dat kan wijzen op een fout in de voeding, maar de afwijking kan ook veroorzaakt worden door fout in een op de voeding aangesloten schakeling. Als bijvoorbeeld een schakeling te veel stroom verbruikt wordt de voeding overbelast. De uitgangsspanning van de stabilisator gaat dan dalen, deze IC's hebben immers ingebouwde beveiligingen tegen overbelasting die de uitgangsspanning automatisch laten dalen als de stroom door de stabilisator te groot wordt. Veel verder is men dan nog niet! Dus moet de soldeerbout opgewarmd worden en moet men, uiteraard bij uitgeschakeld en van het net gescheiden apparaat, de voeding lossolderen van de rest van de schakeling. Men meet de voeding opnieuw door. Blijkt nu alles normaal, dan weet men in ieder geval dat de voeding het goed doet en dat de fout in een van de op de voeding aangesloten schakelingen moet worden gezocht.

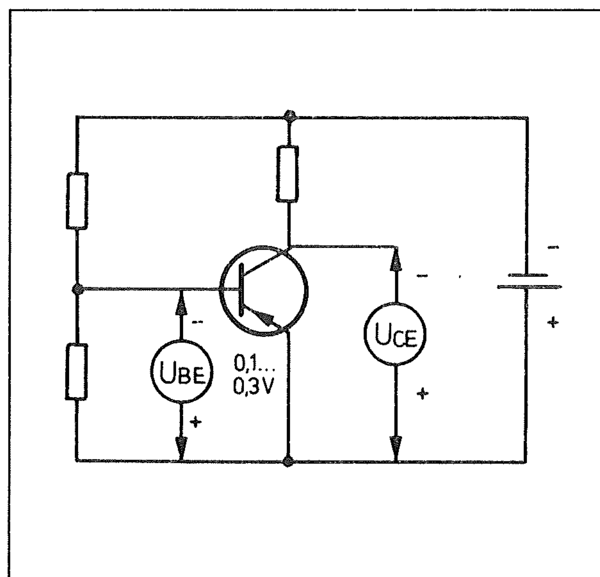
5/2.2.6
Spanningen meten aan onderdelen
Meten aan transistoren

De bedrijfstoestand van een transistor kan men gemakkelijk afleiden uit de spanningen die men tussen de aansluitingen meet.

Allereerst meet men natuurlijk de voedingsspanning, die tussen een aansluiting van de collector-weerstand en de massa gemeten kan worden. De stroom die de transistor verbruikt kan afgeleid worden uit de spanningsval over de collector-weerstand. Men verplaatst dus de meetpen van de ene aansluiting van deze weerstand naar de andere, trekt de twee gemeten spanningen van elkaar af en deelt dit spanningsverschil door de waarde van de weerstand. Het resultaat is de grootte van de collector-stroom.

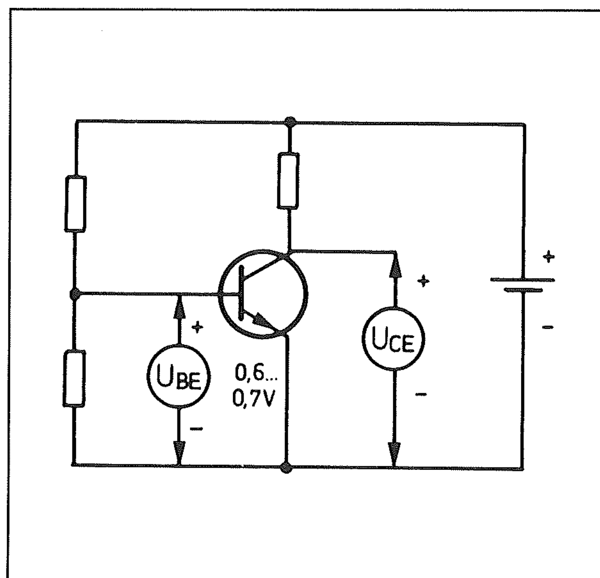
De grootte van deze stroom wordt hoofdzakelijk bepaald door de waarde van de spanning tussen de basis en de emitter. Een en ander is echter afhankelijk van het soort transistor en vandaar dat wij de situatie voor PNP en NPN halfgeleiders door middel van twee figuurtjes verduidelijken.

Bij een PNP-transistor (**P**ijl **N**aar **P**(b)innen!) moet, zoals getekend in figuur 5/2.2.6-1, een negatieve spanning tussen de 0,1 en 0,3 V gemeten worden tussen de basis en de emitter. Op de collector moet men, ten opzichte van de emitter, een negatieve spanning meten die minstens een factor 10 hoger is dan de spanning op de basis. Als de basis-emitterspanning kleiner is dan de genoemde waarde en men meet op de collector een spanning die veel lager is dan de voedingsspanning, dan weet men zeker dat er iets mis is met de transistor. De halfgeleider moet dan immers sperren en de stroom is bijgevolg gelijk aan nul. Er valt geen spanning over de collector-weerstand. Nu geldt deze theorie natuurlijk alleen als de trap niet resistief belast is door een daaropvolgende schakeling. De stroom die deze trap trekt kan natuurlijk voor een spanningsval over de collector-weerstand zorgen. Het is dus steeds noodzakelijk de gemeten waarden goed te interpreteren en men kan de trap waarin gemeten wordt nooit in gedachten isoleren van de rest van de schakeling.



Figuur 5/2.2.6-1: Het meten van spanningen aan PNP-transistoren.

Voor NPN-transistoren gelden de spanningen die zijn ingetekend in figuur 5/2.2.6-2. In geleidende toestand zal er op de basis een spanning gemeten worden, die ongeveer 0,6 à 0,7 V positiever is dan de spanning op de emitter. De spanning op de collector is minstens een factor 5 positiever dan de spanning op de basis. Ook nu geldt dat bij kleinere basis-emitterspanning de transistor moet sperren en de spanning op de collector gelijk moet zijn aan de voedingsspanning.



Figuur 5/2.2.6-2: Het meten van spanningen aan NPN-transistoren.

De invloed van de meet-apparatuur

Meters hebben een bepaalde inwendige weerstand en verbruiken dus stroom die onttrokken wordt aan het punt waarop men meet. Deze meetstroom kan in hoogohmige schakelingen voor ongewenste spanningsvallen zorgen. Heeft de meter bijvoorbeeld een inwendige weerstand van 1 MΩ en meet men op de collector van een transistor met een collector-weerstand van 100 kΩ, dan ontstaat er een resistieve spanningsdeler tussen de voeding en de massa. Deze deler is opgebouwd uit de serie-schakeling van de weerstand van 100 kΩ en de weerstand van 1 MΩ. Het gevolg is dat de collector-spanning door het aansluiten van de meter met meer dan 10% kan gaan dalen. Gelukkig heeft de gebruiker van een digitale meter van dit effect niet zo veel hinder, dergelijke meters hebben immers meestal een gestandaardiseerde ingangs-weerstand van 10 MΩ.

Uitsolderen van transistoren

Het wordt ten stelligste afgeraden transistoren uit de print te solderen als men er niet zeker van is dat deze defect zijn. Moderne printen hebben immers zeer dunne koperen spoortjes en zijn in feite niet ontworpen voor het geweld van een gewone soldeerbout. Deze printen worden immers, na montage van alle onderdelen, in een keer volledig gesoldeerd in een golfsoldeerbad. Het met de hand verwijderen van een onderdeel en nadien vervangen door een nieuwe component brengt een tamelijk grote thermische belasting van de print teweeg en kan op lange termijn een grote bron van storingen worden.

Het is bovendien volstrekt overbodig transistoren uit de schakeling te verwijderen om ze te testen. Zo kan men bijvoorbeeld basis en emitter rechtstreeks kortsluiten. De transistor moet sperren, hetgeen men op de beschreven manier kan controleren door de spanningsval over de collector-weerstand te meten. Men kan via een weerstand van 10 k[N], aangesloten tussen de voeding en de basis, de transistor kunstmatig in verzadiging sturen. De basis-emitterspanning mag niet groter worden dan de genoemde waarden en de collector-spanning moet op enige tienden volt gelijk worden aan de emitterspanning. Stijgt de basis-emitterspanning tot boven de +1 V (bij NPN), dan is er iets fundamenteel mis met de halfgeleider en moet deze vervangen worden.

Andere transistor-schakelingen

Tot nu tot zijn wij er van uitgegaan dat alle transistortrappen zijn opgebouwd volgens de standaard gemeenschappelijke emitter-schakeling. Dat wil zeggen dat de emitter met het gemeenschappelijke punt (de massa) is verbonden en dat de in-

2.2 Foutzoeken in radio-ontvangers

gangsspanning op de basis wordt aangesloten en de versterkte spanning van de collector wordt afgenomen. Nu zijn er echter een heleboel andere schakelingen in gebruik, waaronder de gemeenschappelijke basis- en gemeenschappelijke collectorschakelingen. Bij dat soort schakelingen mag men niet de emitter als gemeenschappelijk punt gebruiken, maar respectievelijk de basis of de collector.
Bovendien zijn er natuurlijk ook nog een heleboel schakelingen waar meer dan een transistor in aanwezig is, die toch slechts een trap vormen. Het bekendste voorbeeld is bijvoorbeeld de twee-transistor versterker, die in de meeste ontvangers wordt gebruikt als voorversterker voor magneto-dynamische elementen. Het is volledig zinloos in zo'n schakeling een transistor als zelfstandige eenheid te beschouwen. De twee transistoren zijn immers door middel van een aantal gelijkspanningstegenkoppelingen met elkaar verbonden en iedere wijziging in de instelling van de ene transistor heeft invloed op de werking van de tweede transistor.

Veldeffect transistoren

Een verhaal apart vormen de FET's, de veldeffect transistoren. Deze treft men tegenwoordig aan in de voorversterkers van zowel HF- als LF-schakelingen. Deze halfgeleiders beschikken immers over uitstekende ruis-eigenschappen, hebben een zeer hoge ingangs-impedantie en tegenwoordig een grote bandbreedte. FET's worden echter niet met stromen, maar met spanningen gestuurd. De werking van een FET is ongeveer gelijk aan deze van een gewone transistor, als men de drie aansluitingen van de FET als volgt vergelijkt met deze van een gewone halfgeleider:

gate → basis;
drain → collector;
source → emitter.

In de meeste schakelingen wordt de source gebruikt als gemeenschappelijk punt en voert men de ingang toe tussen de gate en de source en neemt men het signaal af van de drain.

Er bestaan verschillende technologieen om FET's te maken, de belangrijkste zijn:

- de sperlaag-FET;
- de oppervlaktelaag-FET of MOS-FET.

Bij FET's kent men ook P- en N-types. Bij een P-FET van het sperlaag-type is de gate negatief ten opzichte van de source en de drain positief ten opzichte van de source. Bij N-types geldt uiteraard het omgekeerde.

Meten aan geïntegreerde schakelingen

Aan IC's zelf kan men in feite erg weinig meten. Meer mogelijkheden dan het controleren van de voedingsspanning heeft men niet. Blijkt dat deze veel lager is dan de door de fabrikant voorgeschreven waarde, dan kan het zijn dat het IC door een interne kortsluiting te veel stroom trekt.
Gelukkig staat een lineair IC nooit alleen, maar is het opgenomen in een netwerk van weerstanden en condensatoren die zorgen voor de instelling van het IC. En in deze externe schakeling is wel wat te meten dat iets zegt over de functie van het IC. De meeste lineaire IC's worden ingesteld, net zoals een transistor. Het meten van de grootte van deze instelspanningen geeft informatie over de werking van de schake-

ling. Zo zal men in de meeste gevallen een operationele versterker instellen in het midden van het voedingsbereik. Als de schakeling gevoed wordt met +12 V zal men ongeveer +6 V kunnen meten op beide ingangen en op de uitgang. Een belangrijke eigenschap van operationele versterkers is dat zij het spanningsverschil tussen de inverterende en niet-inverterende ingang zo klein mogelijk proberen te maken. De gelijkspanningen op beide ingangen zullen dus op enige tientallen mV na aan elkaar gelijk moeten zijn. Meet men een groot spanningsverschil tussen beide ingangen, dan is de kans erg groot dat er iets mis is met de schakeling.

Maar het meeste resultaat is te verwachten van de signaal-methode, die in paragraaf 5/2.2.8 wordt beschreven.

5/2.2.7
Stromen en weerstanden meten

Ondanks het feit dat men het gemakkelijkst spanningen in schakelingen kan meten zijn er een aantal fouten die men veel sneller op het spoor komt door een stroom of een weerstand te meten.
Men moet dan echter wel over een instrument beschikken waarmee men stromen kan meten tussen enige μA en verschillende A en weerstanden tussen een tiende Ω en verschillende MΩ.

Stromen meten

Fouten in de eindversterker(s) uiten zich meestal door een sterke toename van de ruststroom. Men kan deze stroom meten door de verbinding tussen de twee eindtransistoren te onderbreken en een ampère-meter in serie op te nemen.
Vaak echter zal men deze onderbreking alleen maar kunnen uitvoeren door een koper spoortje op de print door te krassen. Men kan hiervoor het best een zeer scherp mesje gebruiken en een millimeter van het spoortje weg snijden. Deze onderbreking kan nadien met een soldeerklodder weer overbrugd worden. Wijkt de ruststroom meer dan 30% af van de voorgeschreven waarde, dan moet men **beide** transistoren vervangen. Bij de meeste eindtrappen maakt men immers gebruik van gepaarde transistoren die geselecteerd zijn op identieke eigenschappen. Het uitwisselen van de bestaande transistoren met niet gepaarde soortgenoten zal weliswaar de werking in basis niet beïnvloeden, maar kan leiden tot een grotere vervorming.

Uit de resultaten van de ruststroommeting kan men het volgende afleiden:
- stroom te groot: kortsluiting in de eindtrap;
- stroom te klein: onderbreking in de eindtrap;
- stroom stijgt langzaam maar zeker tot boven de toegelaten waarde: stroomstabilisering defect.

De maximale stroom die door de eindtransistoren mag vloeien kan worden afgeleid uit het maximale vermogen van de versterker. Nu moet men echter nog een omrekenings-factor inbouwen die rekening houdt met de omzetting van wissel- in gelijkstroom. De totale stroom bij volledige uitsturing van de versterker wordt gegeven door de formule:

$$I = P/U \cdot 0{,}7$$

waarbij P staat voor het sinus-vermogen in W en U voor de gelijkspanning in V.
Een versterker met een maximaal vermogen van 100 W zal bijvoorbeeld ongeveer 6 à 8 A door zijn eindtransistoren jagen!

Weerstanden meten

Door het meten van weerstanden kan men een indruk krijgen over de kwaliteit van individuele componenten. Weerstanden meten is meestal de laatste fase in het localiseren van een fout, die wordt ingeschakeld als men door middel van spanning-en/of stroom-metingen de trap waarin de fout aanwezig is heeft gelocaliseerd.
Door het meten van de weerstand kan men zowel de werking van actieve als van passieve componenten onderzoeken. Enig nadeel is dat men er nu niet meer aan ontkomt de te meten onderdelen uit de print te solderen. In de meeste gevallen staan er immers hele reeksen onderdelen parallel over dat ene onderdeel waarvan men de weerstand wil meten en deze parallelschakeling kan de meting volledig vervalsen. Uiteraard is het bij een weerstand voldoende slechts een aansluiting los te solderen!

- weerstanden:
  de gemeten waarde moet binnen 5% kloppen met de op het onderdeel vermelde waarde;
- condensatoren:
  niet-elektrolytische condensatoren moeten een oneindig hoge weerstand hebben, elektrolytische en tantaal condensatoren moeten een weerstand hebben die snel oploopt tot een onmeetbaar hoge waarde;
- transformatoren:
  tussen een aansluiting van de primaire en de secundaire wikkeling moet men een oneindig hoge weerstand meten, de weerstand van een wikkeling zelf is uiteraard afhankelijk van de draaddikte en het aantal windingen maar zal tussen de 1 Ω en enige honderden Ω liggen;
- dioden:
  in geleiding mag men niet meer dan enige 100 Ω meten, in sper moet de weerstand oneindig groot zijn;
- transistoren:
  tussen basis en emitter meet men in de geleidende richting hoogstens enige honderden Ω, in sper enige MΩ;
- relais:
  oneindig hoge weerstand tussen de spoel en de contacten, enige tientallen tot enige honderden Ω tussen de aansluitingen van de spoel.

Bij het meten van dioden en basis-emitter-overgangen moet men er op letten dat er universeelmeters bestaan die een speciale 'diode'-stand hebben. Bij het meten van een weerstand wordt een interne batterij ingeschakeld, die een stroom door de te meten weerstand stuurt. De meter meet in feite de spanningsval die de bekende en nauwkeurige constante stroom over de weerstand opwekt. Als de inwendige batterij meer dan 0,7 V afgeeft zal een diode of transistor gaan geleiden en meet men in geleiding een kleine weerstand. In de 'diode'-stand wordt de meetspanning echter gereduceerd tot ongeveer 0,3 V, zodat dioden en transistoren niet in geleiding worden gestuurd. Dit is handig als men weerstanden in de schakeling wil meten, omdat men er dan zeker van is dat het meetresultaat niet vervalst wordt door parallel geschakelde transistoren of dioden.

5/2.2.8
Signalen controleren

De meest eenvoudige laagfrequent signaal-generator is reeds beschreven in paragraaf 5/2.2.3: het menselijke lichaam met de 50 Hz inductie-spanning van het net. Men kan dit signaal gebruiken in alle laagfrequent trappen van het apparaat. Zolang er een flinke brom uit de luid-

2.2 Foutzoeken in radio-ontvangers

spreker komt, werken alle trappen tussen het aanraakpunt en de luidspreker. Valt het geluid op een bepaald moment weg, dan moet men de trap die men extra in de signaalloop heeft ingeschakeld nauwkeuriger gaan onderzoeken.

Ook de stereo-decoder kan met deze 'brom-generator' gecontroleerd worden. Men voert het signaal toe aan de ingang van de decoder en stelt vast of het geluid uit beide eindversterkers te horen is.

Nu heeft deze eenvoudige manier natuurlijk zijn zwakke punten.
Op de eerste plaats is de in het lichaam geïnduceerde spanning alles behalve een mooie sinus. Stoorsignalen, bijvoorbeeld van TL-armaturen, verontreinigen het signaal. Deze methode is dus niet bruikbaar als men de oorzaak van een kleine vervorming moet opsporen. Dan moet men een echte signaal-generator inschakelen, die een mooie, vervormingsvrije sinus levert.
Daarnaast heeft de 'hand-methode' het nadeel dat men de grootte van de spanning niet kan instellen. Het inductiesignaal is zo groot dat voorversterkers volledig overstuurd zullen worden en het signaal soms gewoon over defecte trappen heen springt. Dat lijkt vreemd, maar kan bij overmatige oversturing toch gebeuren, bijvoorbeeld via de voeding of de paracitaire capaciteiten in de schakeling.
Een derde bezwaar is dat deze methode zich niet zo goed leent voor het opsporen van fouten in oude buizen-apparatuur. Het signaal is bij buis-schakelingen vaak gesuperponeerd op gelijkspanningen van meerdere tientallen tot enige honderden volt, en het zonder na te denken aanraken van een punt kan dus een flinke schok opleveren. En vergeet niet dat gelijkspanning kleine, maar moeilijk te genezen brandwondjes tot gevolg kan hebben, onder meer door de elektrolyse van de huid en het weefsel!
Tot slot kan de inductie-methode niet gebruikt worden voor het volgen van signalen in de HF- en MF-trappen van het apparaat.

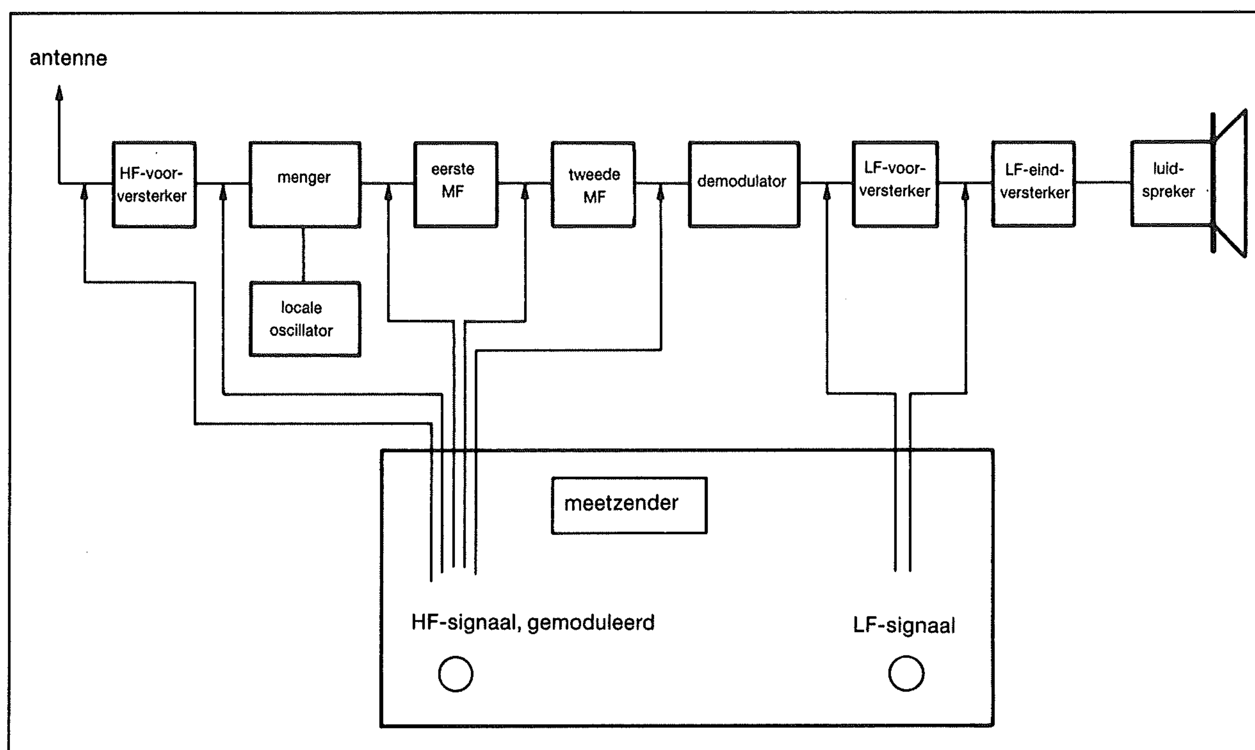
In deze schakelingen moet men gemoduleerde hoogfrequent signalen gebruiken, die aan de ingang van de demodulator en nadien aan de ingangen van de verschillende midden-frequent trappen worden aangeboden. Men moet uiteraard de frequentie van de generator instellen op de juiste frequentie!

De volgende fase is het testen van de hoogfrequent-schakelingen, dus de menger, locale oscillator en eventuele HF-voorversterkers. Groot probleem daarbij is dat men over een meetzender moet beschikken die hoog genoeg in frequentie gaat. Heeft men zo'n apparaat, dan kan men dit op de antenne-ingang aansluiten en onderzoeken of de trappen het doen. Ontvangt men helemaal geen signaal, dan moet de storing gezocht worden in de menger of de locale oscillator. Men kan dit onderzoeken door het ongemoduleerde signaal van de meet-zender te gebruiken als locale oscillator en dit signaal, uiteraard met de juiste frequente, aan te bieden aan de ingang van de menger.
Ontvangt men nu wel zenders, dan is de oscillator stuk. In het andere geval moet de fout in de menger of de voortrappen gezocht worden.

Figuur 5/2.2.8-1 geeft een overzicht van het onderzoeken van een volledige ontvanger met de in deze paragraaf beschreven methode. De meeste hoogfrequent

2.2 Foutzoeken in radio-ontvangers

meet-zenders beschikken ook over een laagfrequent uitgang, waarop de sinus ter beschikking staat die intern wordt gebruikt voor het moduleren van de draaggolf.



Figuur 5/2.2.8-1: Het testen van een volledige superheterodyne-ontvanger met een LF/HF-generator en de in de ontvanger ingebouwde luidspreker als resultaten-melder.

2.2 Foutzoeken in radio-ontvangers

5/2.5

Het principe van RDS, Radio Data System

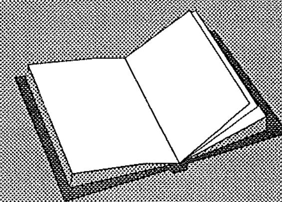
Inleiding

Wat is RDS?

RDS, letterwoord van "Radio Data System" is een Europese standaard voor het versturen van digitale gegevens via een FM-zender. De bedoeling van het systeem is van een FM-tuner een soort intelligent apparaat te maken, dat de luisteraar kan verwennen met tal van extra mogelijkheden. Om een idee te geven van wat de ontwerpers in het hoofd hadden, worden enige voorbeeldjes van de mogelijkheden, die het RDS-systeem in principe in huis heeft, in het kort besproken.

- Het zou mogelijk moeten worden dat een luisteraar, die bijvoorbeeld alleen naar licht klassieke muziek wil luisteren, een code in zijn FM-tuner intoetst (in dit geval 13), waarna de tuner automatisch op zoek gaat naar een zender die licht klassiek uitzendt. Maar, wat meer is, als deze zender omschakelt naar pop, gaat de tuner automatisch op zoek naar een andere zender, die licht klassiek op het programma heeft staan!
- Auto-radio's met een RDS-decoder zijn in staat volledig automatisch om te schakelen van de ene steunzender naar de andere. Stelt men een bepaalde zender in en verlaat men het bereik van deze zender, dan zoekt de ontvanger een andere steunzender op die hetzelfde programma uitstraalt en die op dat moment met de grootste veldsterkte ontvangen wordt.
- RDS-ontvangers kunnen uitgerust worden met een meer-regelig LCD-display, waarop informatie verschijnt over de muziek die uitgezonden wordt. Dat kan de naam van het nummer zijn, maar ook de naam van de componist, etc. In totaal kan deze informatie uit 64 tekens bestaan.
- RDS-ontvangers kunnen automatisch ingeschakeld worden, als er verkeersinformatie wordt uitgezonden. Dat hoeft niet eens te zijn op de zender, waarop de ontvanger staat afgestemd. RDS-ontvangers weten immers welke zenders er nog te ontvangen zijn en kunnen deze afscannen op verkeersinformatie.
- Het RDS-systeem biedt in principe de mogelijkheid om in vreemde landen

LEES OOK:
Hoofdstuk 5/2.1

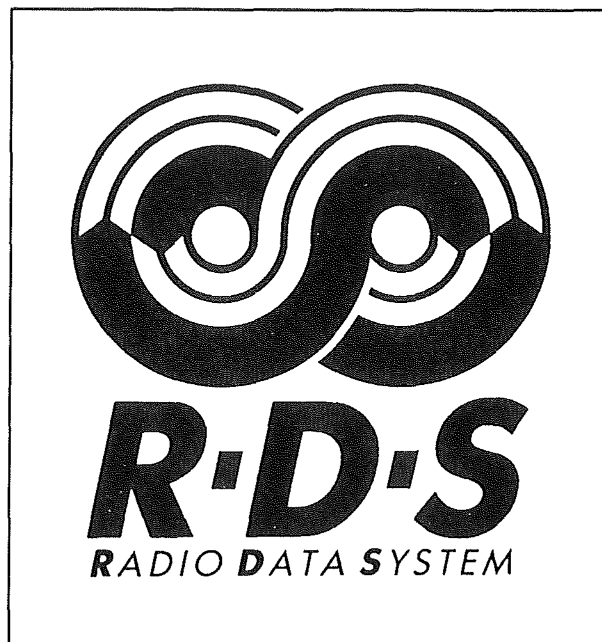


2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

verkeersinformatie in de eigen taal te ontvangen.
- Via RDS zou het in principe mogelijk zijn RDS-ontvangers te gebruiken als personenoproep-apparatuur.

Ontwikkeling

Uit deze voorbeeldjes blijkt dat het RDS-systeem heel ingenieus in elkaar zit en toekomstgericht is. Helaas worden niet alle fantastische mogelijkheden van dit medium in alle landen toegepast! Dat het ontwikkelen van het systeem niet eenvoudig was blijkt wel uit het feit dat reeds in 1974 werd begonnen met de systeemontwikkeling, maar dat het tot 1983 duurde voordat de eerste test-uitzendingen in de lucht kwamen. De standaard werd uiteindelijk in 1984 door de EBU, de "European Broadcasting Union" opgesteld en vastgelegd in het technisch Bulletin 3244-E. Het duurde echter nadien toch nog vrij lang voordat de uitzendgemachtigden deze extra service in hun zenderpark inbouwden. Zo begon de Duitse omroep ARD eerst op 1 april 1988 met het uitstralen van de RDS-codes.
Nu echter, wordt het RDS-systeem in de een of andere vorm gebruikt door FM-zenders in Oostenrijk, België, Denemarken, Finland, Frankrijk, Duitsland, Ierland, Italië, Nederland, Luxemburg, Noorwegen, Portugal, Spanje, Zweden, Zwitserland en het Verenigd Koninkrijk. Alle fabrikanten van FM-tuners hebben apparatuur op de markt gebracht, die de digitale RDS-gegevens kunnen decoderen en op een LCD-schermpje zichtbaar maken. Men kan dus zonder meer stellen dat RDS inderdaad een Europese standaard is geworden!
Alle apparatuur, die is voorzien van een RDS-decoder, is voorzien van het logo dat in figuur 5/2.5-1 wordt voorgesteld.



Figuur 5/2.5-1: Het officiële RDS-logo, dat aanwezig is op alle apparaten die RDS-gegevens kunnen ontvangen en decoderen.

Wat biedt RDS?

Het Radio Data System biedt in totaal niet minder dan 17 diensten aan, die het leven van de FM-luisteraar op de een of andere manier veraangenamen. Deze diensten worden aangegeven door twee- of drieletter codes en wel als volgt:
- PI: Program Identification;
- PS: Program Service Name;
- AF: Alternative Frequency;
- TP: Traffic Program;
- TA: Traffic Announcement;
- EON: Enhanced Other Networks Information;
- CT: Clock Time and Date;
- PTY: Program Type;
- PIN: Program Item Number;
- RT: Radio Text;
- TDC: Transparant Data Channel;
- DI: Decoder Identification;
- M/S: Music/Speech;

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

LAND	PI	PS	AF	TP	TA	PTY	DI	MS	PIN	EON	CT	RT	TDC	IH	RP
BELGIË	◆	◆	◆	◆	◆					◆	◆	◆			
DENEMARKEN	◆	◆	◆	◆	◆					◆					
DUITSLAND	◆	◆	◆	◆	◆							◆		◆	
FINLAND	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆			◆			
FRANKRIJK	◆	◆	◆	◆	◆					◆	◆				◆
VER. KONINKRIJK	◆	◆	◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆	◆			
IERLAND	◆	◆	◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆	◆		◆	◆
ITALIË	◆	◆	◆	◆	◆							◆	◆		
LUXEMBURG	◆	◆		◆											
NEDERLAND	◆	◆	◆	◆	◆	◆						◆			
NOORWEGEN	◆	◆	◆	◆	◆						◆		◆		◆
OOSTENRIJK	◆	◆	◆	◆	◆										
PORTUGAL	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆	◆	◆			
SPANJE	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆		◆	◆		◆	◆
ZWEDEN	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
ZWITSERLAND	◆	◆	◆	◆	◆		◆			◆		◆		◆	

Figuur 5/2.5-2: De RDS-implementatie in de Europese landen, zoals die volgens afspraak in 1992 ingevoerd had moeten zijn.

- IH: Inhouse Information;
- RP: Radio Paging;
- TMC: Traffic Message Channel;
- NWS: National Warning System.

Deze begrippen zullen in de volgende paragrafen besproken worden.

Nu is het echter niet zo, dat alle genoemde landen al deze diensten in gebruik hebben genomen. In de tabel van figuur 5/2.5-2 is een overzicht gegeven van de diensten die de zendgemachtigden in de diverse Europese landen in 1992 in hun FM zendernet geïmplementeerd zouden moeten hebben. Sommige diensten, zoals TMC, zijn niet in deze tabel opgenomen, omdat deze weliswaar in de norm werden gedefinieerd, maar eerst recent tot ontwikkeling zijn gekomen.

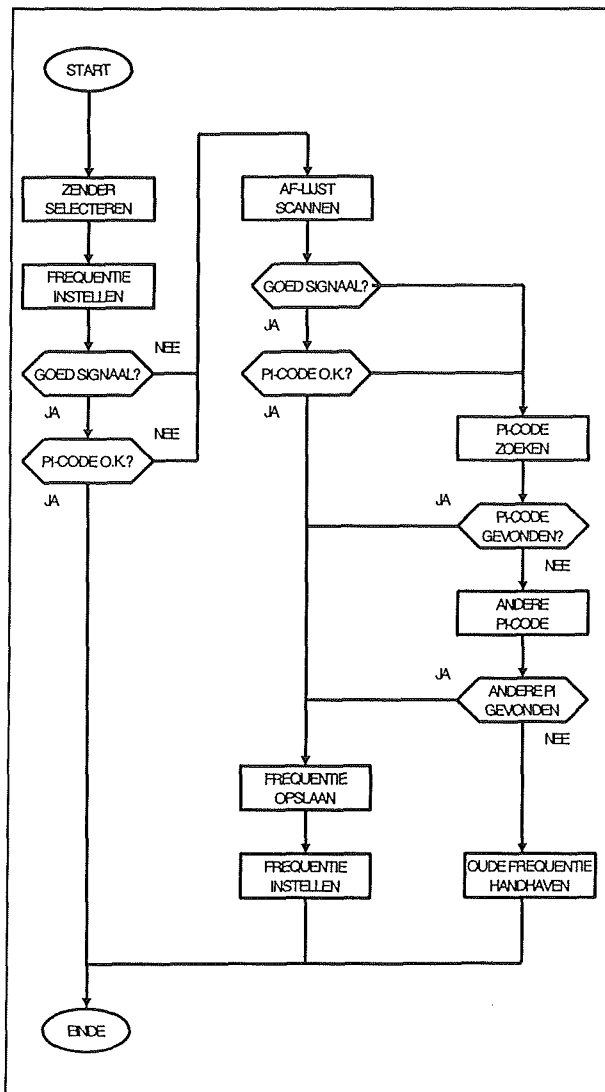
PI, Program Identification

Dit is zonder meer de belangrijkste code van het gehele RDS-systeem. In deze 16 bit lange binaire code wordt de stationsnaam opgenomen (bijvoorbeeld RADIO 1), maar ook het land van herkomst en het bereik (regionaal, nationaal, internationaal). Alle zenders, die het programma van dit station uitzenden, hebben uiteraard dezelfde PI-code. Op deze manier kan een RDS-ontvanger snel de gehele FM-band afscannen en aan de hand van een vergelijking van de veldsterkten beslissen op welke zender wordt afgestemd. Noteer dat deze code binair is en dus niet verantwoordelijk is voor het op het display zetten van de stationsnaam. De binaire code wordt in de elektronica van de ontvanger alleen maar gebruikt om zenders die identieke programma's uitzenden te kunnen opsporen.

PS, Program Service Name

Dit is een tekststring van maximaal acht karakters (dus 64 bits), die de ontvanger kan decoderen en naar het display sturen. De PS-code is dus verantwoordelijk voor de intelligente stationsherkenning en -representatie van iedere RDS-tuner. Voor de code wordt gebruik gemaakt van de ISO-646 code, die de letters en de cijfers uit de ASCII-code bevat, aangevuld met enige letters met accenten. Door de beperking tot acht karakters moeten sommige stationsnamen toch nog afgekort worden, zoals "CAMBRDGE" voor het station Cambridge.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-3: Het software-algoritme, waarmee een RDS-ontvanger de PI- en AF-codes verwerkt.

AF, Alternative Frequency

Dank zij deze 8 bit code wordt het zoeken van alternatieve zenders, die hetzelfde programma uitstralen, vereenvoudigd. De AF-optie stuurt een reeks alternatieve zendfrequenties naar het geheugen van de tuner, waarop het programma ook wordt uitgezonden. Een FM-tuner, die met deze optie is uitgerust, beschikt dus over een tweede front-end (afstemmodule), dat continu alle door de AF-code gedefinieerde zenders afzoekt. Wordt een zender gevonden, waarvan de veldsterkte groter is dan deze waarop het eerste front-end staat afgestemd, dan wordt dit front-end automatisch op de sterkere zender afgestemd. Dank zij een ingenieuze techniek kan men met behulp van 8 bits een hele lijst frequenties definiëren. De frequenties worden namelijk niet numeriek gecodeerd (bijvoorbeeld 102,5 MHz), want dat zou veel te veel bits kosten. Er wordt gewerkt met een offset van 100 kHz ten opzichte van de basisfrequentie van 87,5 MHz. Op deze manier zou men dus 256 frequenties kunnen definiëren, ware het niet dat de AF-codes 205 tot en met 255 een bijzondere betekenis hebben. Er worden in de praktijk 205 frequenties gedefinieerd ten opzichte van 87,5 MHz. AF-code 00 komt overeen met een zenderfrequentie van 87,5 MHz, AF-code 204 met een zenderfrequentie van 107,9 MHz. Dank zij de niet gebruikte codes 205 tot en met 255 kan men, in bijzondere gevallen, het offset-systeem verfijnen tot een resolutie van 25 kHz. De diverse alternatieve frequenties worden een na een uitgezonden (zie later) en door de elektronica in de ontvanger opgeslagen in een geheugen. In figuur 5/2.5-3 is weergegeven hoe het algoritme werkt, waarmee een RDS-ontvanger de AF-gegevens verwerkt. Eerst moet de gebruiker een in het geheugen opgeslagen station selecteren. De elektronica zoekt de frequentie en de PI-code van dit station op in zijn geheugen en stemt zijn front-end er op af. Nadien wordt onderzocht of de veldsterkte van deze zender groot genoeg is. Is dit O.K., dan wordt de PI-code van de zender vergeleken met deze in het geheugen. Stemmen deze overeen, dan wordt de tuner definitief op de zender afgestemd en het

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

audio-signaal vrijgegeven. Is het signaal te zwak of komt de PI-code niet overeen met deze in het geheugen, dan wordt de lijst met AF-frequenties afgescand. Steeds wordt gecontroleerd op voldoende veldsterkte en goede PI-code.
Wordt een alternatieve zender ontvangen met voldoende veldsterkte en dezelfde PI-code, dan wordt het front-end op deze zender afgestemd en het audio-signaal vrijgegeven.

TP, Traffic Program
Deze 1 bit vlag geeft aan dat de zender waarop is afgestemd in principe verkeersmeldingen uitzendt. De ontvanger kan dat aan de luisteraar kenbaar maken door het laten oplichten van een LED. Dit is een handige faciliteit, want zo kan men ook in den vreemde snel een zender opzoeken die verkeersmededelingen uitzendt.

TA, Traffic Announcement
Ook dit is een één bit vlag, die samenwerkt met TP. Deze vlag wordt geset op het moment dat de zender daadwerkelijk een verkeersmelding uitzendt. Met dit bit kan de RDS-ontvanger even uit de stand-by modus tot leven worden gewekt of kan de ontvanger overschakelen van cassette naar radio.

EON,
Enhanced Other Networks Information
Deze 18 bits geven informatie over andere zenders, die worden uitgezonden door de zenderlocatie van de zender waarop de ontvanger staat afgestemd. De code bevat de volgende informatie:
- PI;
- PIN;
- PTY;
- TP;
- TA;
- AF.

Dit is een zeer handige voorziening, want dank zij de EON-informatie kan een intelligente ontvanger heel snel een ander station zoeken dat bijvoorbeeld verkeersinformatie uitzendt en waarvan de veldsterkte per definitie (dezelfde zenderlocatie) groot genoeg is om goed ontvangen te worden. Staat men bijvoorbeeld afgestemd op een zender die geen verkeersinformatie uitzendt, maar wel leuke muziek, dan kan men aan de RSD-ontvanger melden dat men toch prijs stelt op het ontvangen van plaatselijke verkeersmeldingen. De intelligente elektronica in de ontvanger scant dan de EON-gegevens af op zoek naar een zender die dat doet. Op het moment dat deze zender daadwerkelijk een verkeersinformatie uitzendt, zal de ontvanger automatisch even afstemmen op deze zender en, nadat deze informatie is uitgezonden, weer automatisch terug schakelen naar de zender waarop men heeft afgestemd. Ook kan via deze optie gezocht worden naar een programma dat hetzelfde soort muziek uitzendt.

CT, Clock time and date
Deze 43 bit brede informatie bevat de zeer nauwkeurige tijd- en datumgegevens zoals zij door de DCF-77 zender in de buurt van Frankfurt worden uitgezonden. Deze code bevat:
- jaar;
- maand;
- dag;
- weeknummer;
- dag van de week;
- uren;
- minuten.

Het is aan de fabrikanten van RDS-ontvangers om te beslissen in hoeverre zij al deze gegevens decoderen en op het

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

display van hun apparatuur zichtbaar maken.

PTY, Program Type

Deze vijf bit brede code geeft informatie over het soort programma dat wordt uitgezonden. Van de 32 mogelijke codes zijn er door de EBU slechts 17 gedefinieerd en wel volgens het lijstje van figuur 5/2.5-4.

PTY-CODE	SOORT PROGRAMMA
00	GEEN DEFINITIE
01	NIEUWS
02	POLITIEK
03	SPECIALE GESPROKEN PROGRAMMA'S
04	SPORT
05	EDUCATIEVE PROGRAMMA'S
06	LUISTERSPELEN
07	KULTUUR EN GODSDIENST
08	WETENSCHAP
09	SPELLETJES
10	POPMUZIEK
11	ROCKMUZIEK
12	ONDERHOUDENDE MUZIEK
13	LICHT KLASSIEK
14	ZWAAR KLASSIEK
15	SPECIALE MUZIEKPROGRAMMA'S
16 - 30	NOG NIET GEDEFINIEERD
31	ALARMMELDINGEN

Figuur 5/2.5-4: De in de vijf bits van de PTY-code gedefinieerde programmasoorten.

Het zal duidelijk zijn dat het invoeren van de PTY-code een heleboel extra werkt met zich meebrengt voor de uitzendgemachtigden. Het systeem werkt immers alleen goed als de PTY-code onmiddellijk wordt aangepast als er een andersoortig programma wordt begonnen.
Code 31 heeft een bijzondere betekenis. Deze "catastrofe-code" zorgt ervoor dat een RDS-ontvanger onmiddellijk van "stand-by" naar actief wordt geschakeld, zodat de kans dat iemand de belangrijke mededelingen die dan worden uitgezonden misloopt uitermate klein is.

PIN, Program Item Number

In deze 16 bit brede code worden data verpakt over de uitzenddatum en starttijd van een programma. Deze functie van RDS is te vergelijken met de VPS-codering die TV-zenders gebruiken. De PIN-code bevat de dag van de maand en het uur en de minuten waarop het programma wordt uitgezonden. Net zoals bij VPS worden alleen de in de programmagegevens vermelde gegevens uitgezonden, ook als om de een of andere reden het programma op een vroeger of later tijdstip zou worden uitgezonden. Deze functie van het RDS-systeem is erg handig bij gecombineerde apparaten, die dus zowel een FM-tuner als een cassetterecorder bevatten. Men kan nu het cassettedeck programmeren op het opnemen van een bepaald programma op een manier die volledig vergelijkbaar is met deze die gebruikt wordt bij VPS.
De vraag is echter of er ooit apparaten in de handel zullen komen die deze faciliteit ondersteunen. Er zijn immers maar weinig landen die de PIN-functie willen ondersteunen en bovendien is het maar de vraag of het publiek zit te wachten op dergelijke zaken.

RT, Radio Text

De RT-code bestaat uit een string van 64 alfanumerieke karakters, die gebruikt kan worden als visuele ondersteuning van een bepaald programma. Bij sportuitzendingen zou men bijvoorbeeld de stand van de wedstrijd hiermee kunnen aangeven, of bij klassieke muziek nadere gegevens over het stuk dat wordt uitgezonden. Hoewel diverse landelijke uitzendorganisaties hebben toegezegd de RT-codering te ondersteunen komt hiervan in de praktijk weinig terecht! Bovendien zijn er niet veel tuners verkrijgbaar die een display heb-

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

ben, waarop strings van 64 karakters kunnen worden afgebeeld.

TDC, Transparant Data Channel
Ook deze functie zendt alfanumerieke gegevens uit, maar in langere blokken dan RT. In principe is TDC te vergelijken met Teletext, maar het grote probleem is natuurlijk dat een tuner niet is uitgerust met een beeldscherm. De bedoeling van de EBU was dat er een interface ontwikkeld zou worden, waarmee een FM-tuner gekoppeld kon worden aan een computer. De TDC-gegevens zouden dan in de computer ingelezen worden en op het beeldscherm verschijnen. Verder werd de mogelijkheid geboden via dit data-kanaal computerinformatie te verzenden, zodat er een gestandaardiseerd alternatief zou ontstaan voor het in Nederland ontwikkelde "BASICODE"-systeem. De TDC-optie van RDS is echter nooit echt volledig ontwikkeld en praktisch toegepast.

DI, Decoder Identification
Deze code van een bit is bedoeld voor het op afstand in- en uitschakelen van bepaalde hardwareblokken in de RDS-ontvanger, bijvoorbeeld een stereodecoder of een Dolby Pro Logic decoder. Via een offset-systeem, bestaande uit twee extra bits (zie later) kan men met dit ene bit toch vier verschillende modi decoderen. Op dit moment zijn drie van de vier mogelijke modi aan bepaalde functies toegewezen:

- Mode 1:
  Is een mono/stereo-vlag, waarmee een stereodecoder kan ingeschakeld worden. Een nuttiger toepassing van deze modus is het inschakelen van het LED'je dat op een ontvanger gaat branden als er een stereo-uitzending wordt ontvangen. In de meeste gevallen is immers deze LED eerder een indicatie dat de piloottoon van 19 kHz wordt ontvangen, hetgeen nog niet per definitie wil zeggen dat er stereo wordt uitgezonden!
- Mode 2:
  Deze modus bepaalt of een stereo-opname is gemaakt met een kunsthoofd in plaats van met microfoons, die ver uit elkaar staan.
- Mode 3:
  Deze modus geeft aan dat er compressietechnieken zijn toegepast bij de opname. Hiermee zou dus in de RDS-ontvanger een companderschakeling geactiveerd kunnen worden.

M/S, Music/Speech
Dit ene bit is een vlag, die aangeeft of er muziek dan wel spraak wordt uitgezonden. In de ontvanger kan dit bit gebruikt worden voor het individueel instellen van het volume voor muziek en spraak. Ook zou dit bit gebruikt kunnen worden voor het onderdrukken van spraak.

IH, Inhouse Information
Via deze optie kan de zendgemachtigde interne informatie verzenden, bijvoorbeeld schakeldata voor het in- en uitschakelen van steunzenders. De invulling van deze 296 bits kan door de gebruiker volledig vrij bepaald worden.

RP, Radio Paging
Met deze optie van het RDS-systeem zou een personenoproepsysteem ontwikkeld kunnen worden, vergelijkbaar met Semafoon.
Deze optie is in feite ingevoerd onder druk van Zweden, waar een dergelijk systeem reeds bestond. Dit MBS, aforting van "Mobilsökning", was ingevoerd om de vele kleine FM-steunzenders, die in Zwe-

den noodzakelijk zijn, rendabel te maken. Zweden heeft, na het invoeren van de RDS-standaard, zijn MBS volledig omgeschakeld naar RP. Ook Frankrijk heeft RP ingevoerd en wel om de grote kosten, die het gevolg zijn van het invoeren van RDS in alle FM-zenders, gedeeltelijk terug te verdienen. In de meeste bij de EBU aangesloten landen, bestaat echter absoluut geen interesse in het invoeren van dit systeem.

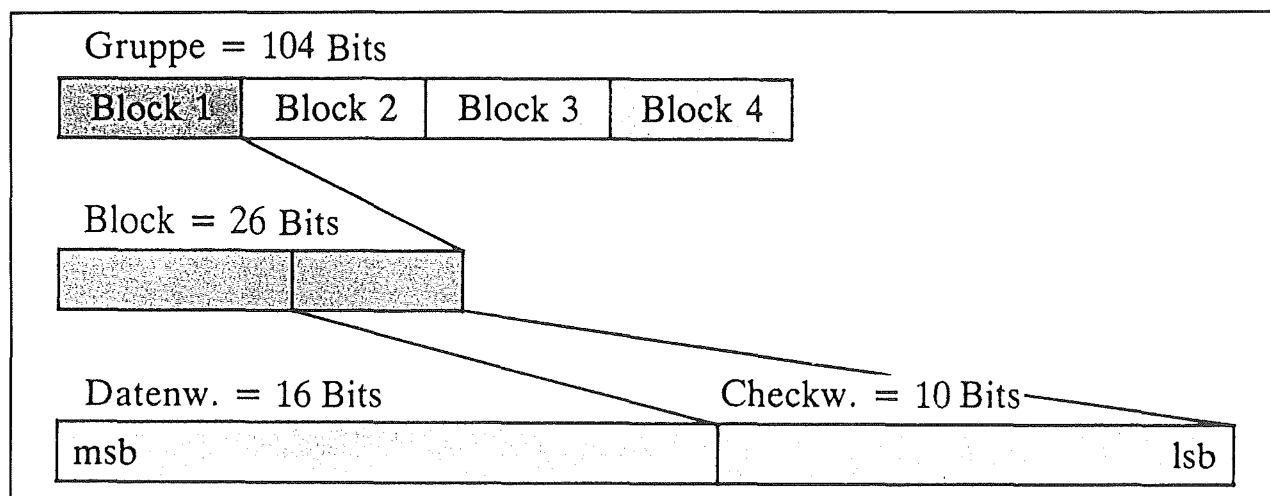
TMS, Traffic Message Channel
Het Traffic Message Channel is een digitaal systeem voor het doorgeven van verkeersinformatie via een FM-zender. De verkeersmeldingen worden niet onder de vorm van spraak door het programma gemengd, maar worden digitaal uitgezonden.
Het lopende programma moet dus niet onderbroken worden. De uitgezonden codes kunnen in een auto-radio in een geheugen worden opgeslagen en worden "afgespeeld" voordat men weg rijdt. Door de codering onder de vorm van digitale code's is het in principe mogelijk de verkeersmeldingen te laten vertalen door een spraak-IC. Hetgeen weer de mogelijkheid biedt diverse talen te selecteren. Met TMS is het dus mogelijk in Spanje uitgezonden verkeerscodes onder de vorm van duidelijk te verstane Nederlandse zinnen uit de luidspreker van de autoradio te laten weerklinken!
De mogelijkheden van TMS zijn zo goed als onbegrensd. Diverse elektronica-concerns zijn bezig met het ontwikkelen van elektronische verkeersleidingssystemen. Op een CD-ROM staat dan bijvoorbeeld het gehele wegennet van Nederland. Door een bestemming in te toetsen kan het (uiteraard) computergestuurd systeem de beste route uitzetten. Via TMS is het mogelijk up-date gegevens door te zenden voor het door Philips ontwikkelde CARIN-systeem of het door Blaupunkt ontwikkelde Travel Pilot systeem. De systemen zijn dan in staat bij het berekenen van de beste route rekening te houden met de actuele file-toestand van het wegennet.
TMS zit dus heel ingewikkeld in elkaar en biedt heel veel mogelijkheden. Bovendien is het systeem nog niet operationeel en wordt er in diverse landen mee geëxperimenteerd. Vandaar dat hiervoor aan het einde van dit hoofdstuk een afzonderlijk subhoofdstuk wordt gereserveerd.

NWS, National Warn System
Met deze RDS-functie heeft de EBU een mogelijkheid gecreëerd om een nationaal alarmsysteem per radio in te voeren. Het is de bedoeling dat alle RDS-ontvangers die op stand-by staan automatisch afstemmen op een zender die een NWS-code uitzendt.
Op deze manier zou niet alleen landelijk maar ook regionaal of zelfs plaatselijk gewaarschuwd kunnen worden tegen calamiteiten, zoals gifalarm, smogalarm, etc. De exacte invulling van deze service is echter open gelaten en de vraag is of deze optie ooit in de praktijk zal worden toegepast.

Het digitale RDS-protocol

Inleiding
De RDS-gegevens worden serieel uitgezonden met een snelheid van 1.187,5 bit/s.
Hart van het protocol zijn zogenoemde "blokken", die zijn opgebouwd uit 16 databits en 10 controle-bits.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-5: De algemene structuur van het RDS-protocol.

In die tien laatstgenoemde bits is informatie opgenomen over het blok dat wordt uitgezonden (de zogenoemde offset), maar is ook een zeer uitgekiend foutherkenningssysteem aanwezig. De tien controle-bits zorgen ervoor dat iedere RDS-ontvanger de geldigheid van de 16 databits uit het blok kan controleren. Blokken worden gecombineerd tot zogenoemde "groepen". Een groep bestaat uit vier blokken en dus uit 104 bits. Een blok wordt in 21,89 ms uitgezonden, een groep dus in 87,56 ms. De algemene structuur van de data-overdracht is getekend in figuur 5/2.5-5.

De algemene samenstelling van de groepen

In het RDS-protocol kunnen in totaal 32 verschillende groepen worden samengesteld. Van deze 32 groepen zijn er echter slechts 14 volledig beschreven. Deze groepen verschillen van elkaar door de gegevens die zij bevatten. In de tabel van figuur 5/2.5-6 is een overzicht gegeven van de samenstelling van de gedefinieerde groepen. De groepen worden op de eerste plaats genummerd en op de tweede plaats ingedeeld in zogenoemde type-A en type-B groepen (behalve de groepen 4 en 15). Uit dit overzicht blijkt dat in iedere groep het eerste blok wordt gevuld met de 16 bits van de PI-code. In het tweede blok worden steeds de TP- en PTY-codes opgenomen. Dat is logisch, want de PI-, TP- en PTY-codes vormen in feite de basis van het volledige RDS-systeem. Het verschil tussen een type-A groep en een type-B groep is dat in laatstgenoemde groepen blok 3 nog eens wordt gebruikt voor het uitzenden van de PI-code.

Uitzendschema's

De uitzendorganisaties hebben een heel grote vrijheid in de manier waarop zij de verschillende groepen uitzenden. In de standaard wordt bijvoorbeeld geen voorgeschreven volgorde vastgelegd. Groepen die gegevens bevatten die regelmatig ververst moeten worden, zullen dus vaker worden uitgezonden dan groepen die vrij statische gegevens bevatten. Zo is het niet noodzakelijk groep 4A, de klok- en kalendergroep, meer dan één keer per minuut uit te zenden.
Door de Engelse BBC wordt bijvoorbeeld het onderstaande uitzendschema gevolgd:

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

groep	blok1	blok2	blok3	blok4	funktie van de groep
0A 0B	PI ,,	TP,PTY,TA,M/S,DI,ctrl ,,	AF PI	PS ,,	elementaire afstem- en schakel-informatie
1A 1B	,, ,,	TP,PTY,*(5) ,,	*(16) PI	PIN ,,	Program Item Number
2A 2B	,, ,,	TP,PTY,ctrl ,,	RT PI	RT ,,	RadioText
3A 3B	,, ,,	,, ,,	ON PI	ON ,,	Other Networks
4A	,,	TP,PTY,*(3),CT	CT	CT	klok en kalender
5A 5B	,, ,,	TP,PTY,ctrl ,,	TDC PI	TDC ,,	Transparent data channels
6A 6B	,, ,,	TP,PTY,IH ,,	IH PI	IH IH	In-House-informatie
15B	,,	TP,PTY,TA,M/S,DI,ctrl	PI	TP,PTY,TA M/S,DI, ctrl	elementaire afstem en schakel-informatie

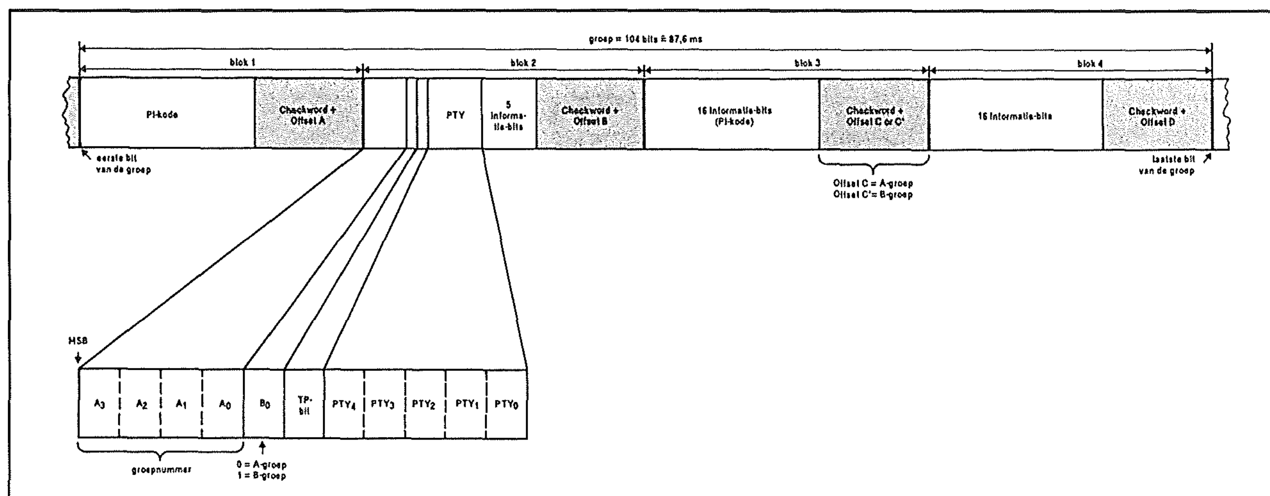
Figuur 5/2.5-6: De samenstelling van de 14 gedefinieerde groepen.

0A, 1B, 0A, 2A, 15B, 0A, 3A, 15B, 0A, 2A, 0A, 1B, 15B, 0A, 3A, 2A, 0A, 15B, 0A, 15B. Bij het begin van een nieuwe minuut wordt in dit schema ingebroken om eenmalig een 4A-groep uit te zenden.

Groep identificatie

De vraag is dus hoe de elektronica in een RDS-ontvanger kan weten welke groep er op een bepaald moment wordt ontvangen. Om dit probleem op te lossen heeft men in ieder tweede blok van een groep vijf bits gereserveerd voor het herkennen van de uitgezonden groep. Vier bits, A3 tot en met A0, geven het groepnummer in binaire code weer, het vijfde bit B0 bepaalt of de uitgezonden groep tot een type-A of een type-B behoort. Aan de hand van deze wetenschap kan de algemene structuur van een RSD-groep weergegeven worden als getekend in figuur 5/2.5-7. Hieruit blijkt dus dat de vijf groepherkenningsbits in het begin van het tweede blok worden uitgezonden. Hieruit blijkt bovendien dat er in een groep maximaal slechts 37 bits ter beschikking staan voor het uitzenden van andere codes dan PI, TP en PTY. De gestandaardiseerde groepscodering is weergegeven in de tabel van figuur 5/2.5-8.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-7: De algemene structuur van een RDS-groep.

Gruppe					
	A_3	A_2	A_1	A_0	B_0
0					
0A	0	0	0	0	0
0B	0	0	0	0	1
1					
1A/B	0	0	0	1	X
2					
2A/B	0	0	1	1	X
3					
3A/B	0	0	1	1	X
4					
4A	0	1	0	0	0
5					
5A/B	0	1	0	1	X
6					
6A/B	0	1	1	0	X
7–14					
15					
15B	1	1	1	1	1

Figuur 5/2.5-8: Samenstelling van de A- en B-bits, die de uitgezonden groep definiëren.

De meest uitgezonden groepen

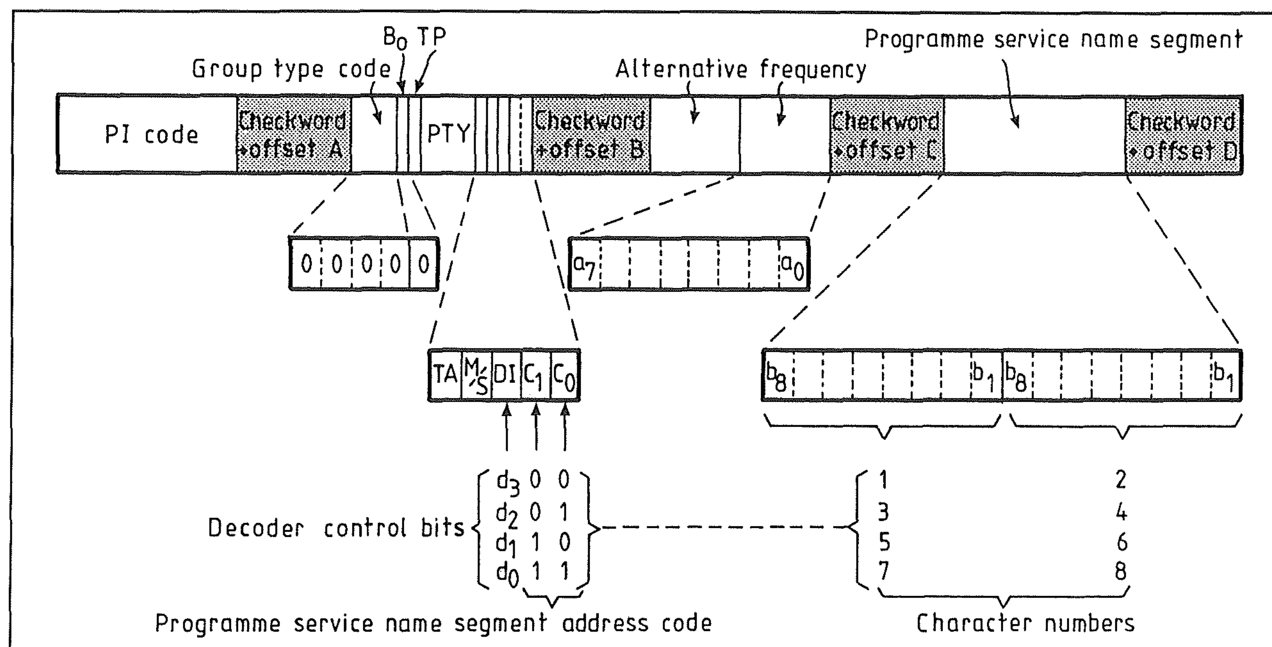
Niet alle groepen die gedefinieerd zijn worden ook uitgezonden. Een en ander is natuurlijk afhankelijk van welke opties van het RDS-systeem in een bepaald land worden ondersteund. De voornaamste groepen zijn 0A, 2A, 4A en 15B. Vandaar dat het handig is deze groepen even nader te bestuderen.

Groep 0A

De samenstelling van deze groep is getekend in figuur 5/2.5-9. Na de PI-code in het eerste blok volgen in het tweede blok de groepcode-bits, het TP-bit, de PTY-code, het TA-bit, het M/S-bit en het decoder control bit DI.

De laatste twee bits van dit blok, C1 en C0, vormen een segment adres code voor de DI-modus en voor de PS-bits die in de vierde groep worden opgenomen. Op deze manier kunnen de acht karakters van deze code, dus in totaal 64 bits, verspreid worden over vier opeenvolgende 0A-groepen. Als C0 en C1 beide "L" zijn, worden in het laatste blok van de 0A-groep de eerste twee karakters van de PS-code uitgezonden.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-9: De samenstelling van de 0A-groep.

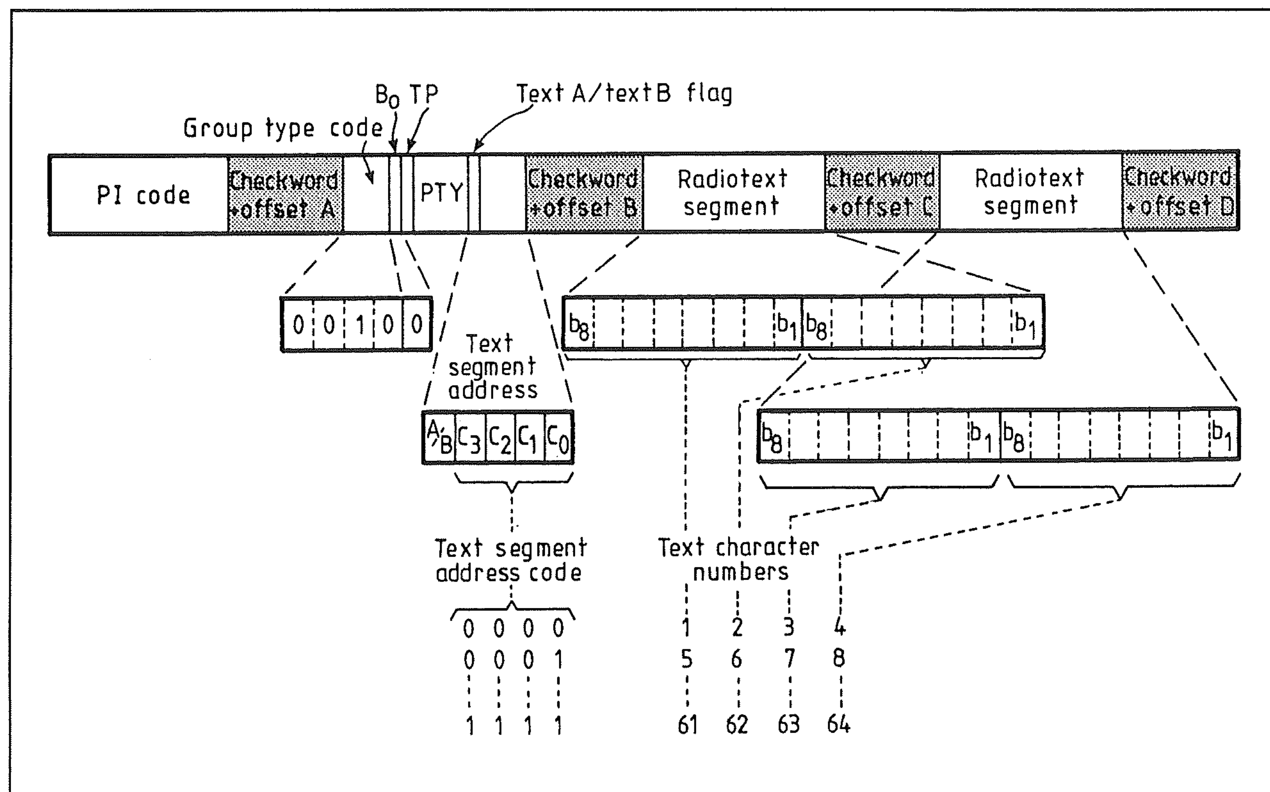
Dit gaat zo verder tot er bij C0 en C1 "H" de twee laatste karakters verzonden worden.
De C-bits bepalen eveneens welke modus van de DI-code in de groep wordt meegestuurd.

Groep 2A
De samenstelling van groep 2A is getekend in figuur 5/2.5-10. Deze groep wordt gebruikt voor het uitzenden van de Radio Text informatie. Ook nu wordt gebruik gemaakt van een aantal bits die de segment adres code voor de RT-informatie bepalen. Per 2A-groep worden slechts vier karakters van de RT-tekst uitgezonden. Deze zitten in de twee laatste blokken van de groep.
Dank zij de vier segment adres bits kan men de 64 karakters van de radio text verspreiden over 16 opeenvolgende 2A-groepen. Bovendien bestaat nog eens de mogelijkheid te selecteren tussen twee verschillende teksten.
Hiervoor is een extra bit in blok 2 aanwezig, de zogenoemde "text A/text B flag". Door dit bit "L" of "H" te maken kan gedefinieerd worden dat ofwel RT-A of RT-B wordt uitgezonden.

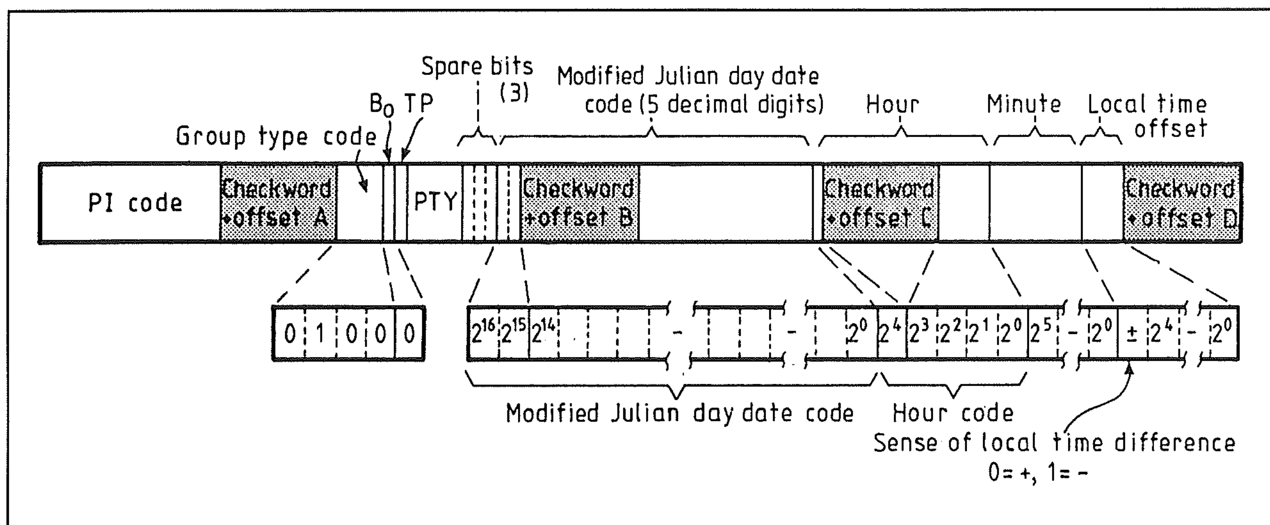
Groep 4A
Groep 4A wordt gebruikt voor het uitzenden van de datum en de tijd. Hoe deze gegevens in de ruimte van een 4A-groep verpakt worden is geschetst in figuur 5/2.5-11.

Groep 15B
Deze groep is, net zoals groep 0A, voornamelijk bedoeld voor het uitzenden van de fundamentele gegevens van het RDS-systeem, namelijk PI, TP, PTY, M/S en DI. Anders dan groep 0A worden in deze groep echter deze fundamentele gegevens twee keer uitgezonden, een maal in de blokken 1 en 2 en nog eens een keer in de blokken 3 en 4. De samenstelling van deze groep is getekend in figuur 5/2.5-12.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

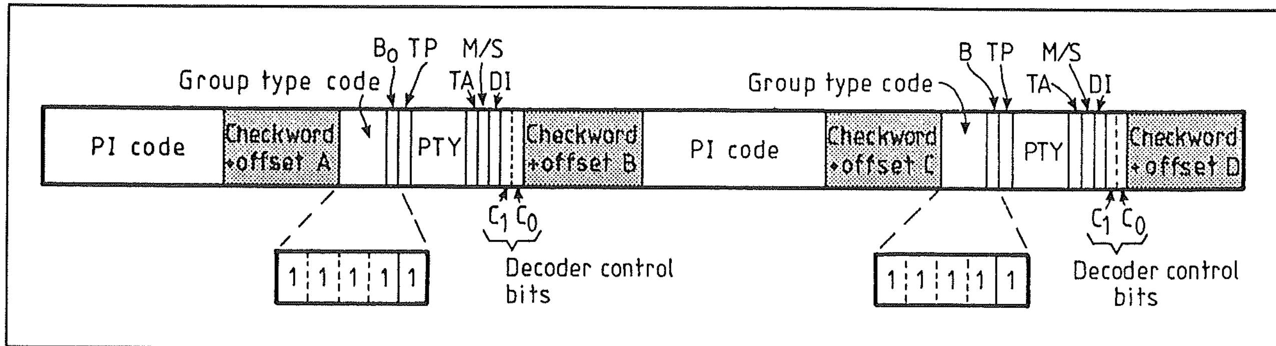


Figuur 5/2.5-10: De exacte samenstelling van een 2A-groep.



Figuur 5/2.5-11: De samenstelling van de datum- en tijdgroep 4A.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-12: De samenstelling van de groep 15B.

```
      10000000000000000001110111
      01000000000000001011100111
      00100000000000001110101111
      00010000000000001100001011
      00001000000000001101011001
      00000100000000001101110000
      00000010000000000110111000
G =   00000001000000000011011100
      00000000100000000001101110
      00000000010000000000110111
      00000000001000001011000111
      00000000000100001110111111
      00000000000010001100000011
      00000000000001001101011101
      00000000000000101101110010
      00000000000000010110111001
```

Figuur 5/2.5-13: De samenstelling van de "generator matrix".

Het controle-woord

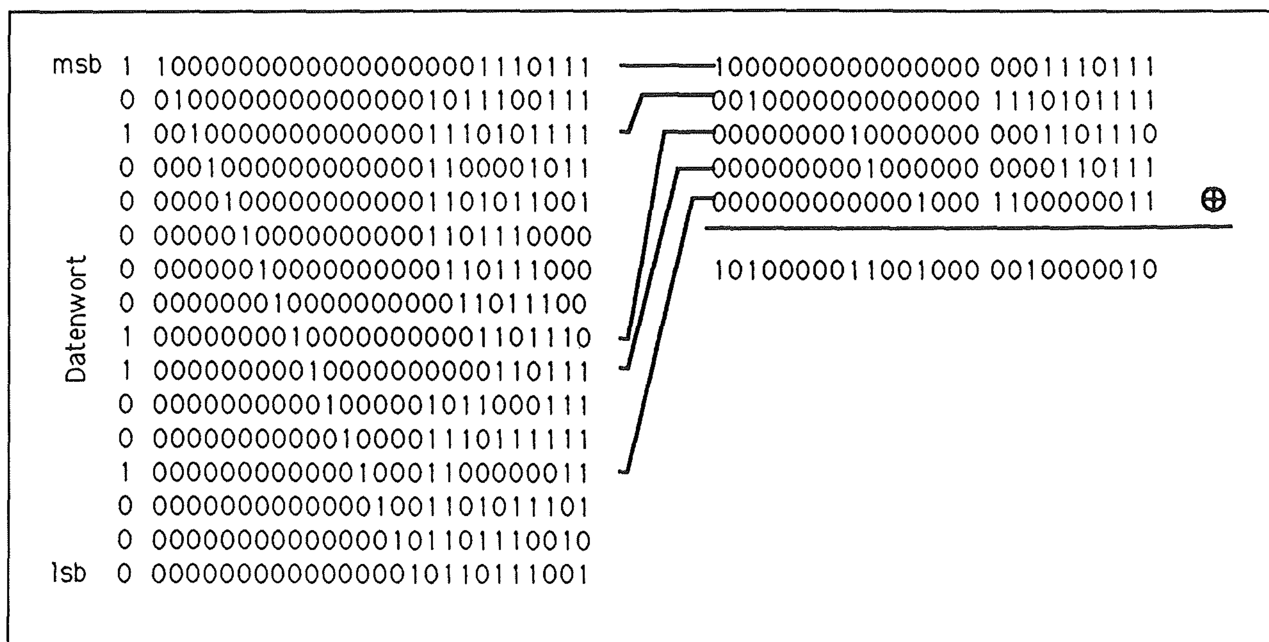
Inleiding
Zoals reeds beschreven bevatten de tien bits van ieder controlewoord twee soorten informatie:
- codering van het soort blok, de zogenoemde offset;
- foutherkenning.

De manier waarop deze tien bits worden samengesteld is vrij gecompliceerd en alleen te begrijpen als men nogal wat van de niet zo gemakkelijke matrix-wiskunde afweet. Toch kan men, aan de hand van een praktisch voorbeeld, het principe van de codering van het controle-woord best begrijpen.
Als voorbeeld wordt een data-woord genomen met als samenstelling:
1-0-1-0-0-0-0-0-1-1-0-0-1-0-0-0
Stap na stap wordt nu bekeken hoe het controle-woord, dat bij dit data-woord hoort, wordt samengesteld.

De G-matrix
Als eerste stap worden de 16 bits van het data-woord naast de zogenoemde "G-matrix" gezet. Deze G-matrix, afkorting van "generator matrix" bestaat uit 16 rijen van ieder 26 bits, met een zeer welbepaalde samenstelling. De samenstelling van deze matrix is getekend in figuur 5/2.5-13. Het meest belangrijke bit (MSB) van het data-woord wordt naast de bovenste rij van deze matrix gezet en zo verder tot het laatste bit (LSB) dat naast de onderste rij van de matrix wordt gezet.

Exclusive OR
In de volgende stap worden alle rijen van de matrix, waarnaast een "1"-bit van het data-woord staat, met elkaar verknoopt in een Exclusive OR bewerking. Dit is weergegeven in figuur 5/2.5-14.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-14: Door de EXOR-bewerking ontstaat een 26 bit breed woord, samengesteld uit het data-woord en een exclusieve "handtekening" van dat woord.

De EXOR-bewerking is een bewerking uit de Boolse algebra, die een uitgang "1" oplevert als de logische waarden van de ingangen niet aan elkaar gelijk zijn. Het resultaat van deze wiskundige bewerkingen is een woord van 26 bit, waarvan de 16 meest linkse bits precies gelijk zijn aan het data-woord! Door het verknopen van het data-woord aan de G-matrix ontstaat dus een 26 bit breed woord. De 16 linkse bits zijn gelijk aan het data-woord, de tien rechtse bits vormen een exclusieve "handtekening", die uniek is voor het data-woord.

De offset-code

Vervolgens moet een offset worden ingevoerd, die definieert welk blok wordt uitgezonden. Deze offset bestaat uit een tien bit brede code, voorgesteld in figuur 5/2.5-15.
Het blok 3 kent twee offset-codes C en C'. De C'-code wordt gebruikt voor het identificeren van een C-blok, dat de PI-code bevat. Deze blokken komen, zoals reeds beschreven, voor in groepen die tot het B-type behoren.

Block	Offset	Offset word
1	A	0011111100
2	B	0110011000
3	C	0101101000
"	C'	1101010000
4	D	0110110100

Figuur 5/2.5-15: Het tien bit brede offset-woord, dat het uitgezonden blok definieert.

Weer een EXOR-bewerking

In de laatste stap wordt het 26 bit brede woord, gevormd in figuur 5/2.5-14, via een EXOR-bewerking verknoopt met het offset-woord. In figuur 5/2.5-16 is deze bewerking voorgesteld, waarbij er van

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

wordt uitgegaan dat blok B wordt uitgezonden.

```
1010000011001000 0010000010   ⊕
                 0110011000
1010000011001000 0100011010
```

Figuur 5/2.5-16: De laatste bewerking: het EXOR-verknopen van het via de G-matrix bewerkte data-woord met het offset-woord.

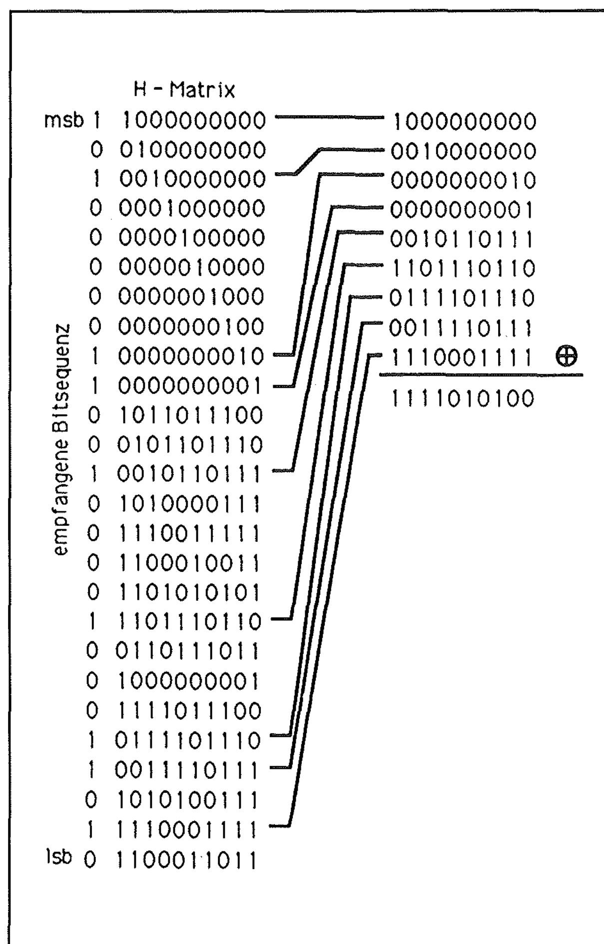
Het resultaat is een 26 bit breed woord, waarvan de 16 linker bits nog steeds gelijk zijn aan het originele data-woord en de tien rechter bits zowel de "handtekening" van dit data-woord bevatten als informatie over de blok-offset.

Terugwinnen van het woord
Het aldus uitgezonden woord moet nu in de RDS-ontvanger weer ontrafeld worden. Aan de hand van de samenstelling van de tien rechter bits kan de processor in de RDS-ontvanger op de eerste plaats controleren of het woord foutloos werd ontvangen. Op de tweede plaats kan de ontvanger de offset-code terug winnen en dus bepalen welk blok werd ontvangen. Ook bij deze bewerkingen wordt gebruik gemaakt van matrix-wiskunde, maar aan de hand van het voorbeeld kunnen de verschillende stappen toch wel weer begrepen worden.

De H-matrix
In de ontvanger worden de 26 bits die per blok ontvangen worden, de 16 data-bits plus de tien controle-bits, weer naast een matrix gezet. Nu noemt men deze matrix de "H-matrix". Deze bestaat uit 26 rijen van ieder uit tien bits en uiteraard heeft deze matrix weer een specifieke samenstelling. Ook nu wordt het meest belangrijke bit MSB naast de bovenste rij van de matrix gezet en het minst belangrijkste bit LSB naast de onderste rij. En ook nu worden die rijen van de matrix, die naast een "H" bit staan met elkaar verknoopt in een EXOR-bewerking. Een en ander wordt voorgesteld in figuur 5/2.5-17. Het resultaat is een tien bit breed woord, dat het "syndroom" wordt genoemd.
Als de 26 bits van het blok goed werden ontvangen, dan kan het niet anders dat de inhoud van dit syndroom gelijk is aan een van de vijf syndromen, die in de tabel van figuur 5/2.5-18 zijn voorgesteld. Ieder geldig berekend syndroom komt overeen met een bepaalde blok-code. Met andere woorden: aan de hand van de inhoud van het berekende syndroom kan de RDS-processor vaststellen of de inhoud van het blok goed werd ontvangen en zo ja, welk blok werd ontvangen!

Evalueren van de syndromen
De RDS-processor zal de opeenvolgend berekende syndroom-codes evalueren. Als opeenvolgend syndromen worden berekend die overeen komen met de blokvolgorde A, B, C en D of A, B, C' en D, dan weet de processor dat alle gegevens uit een RDS-groep goed werden ontvangen en kunnen de gegevens van deze groep verder worden bewerkt. Komt een of meerdere berekende syndromen niet overeen met deze van figuur 5/2.5-18, dan weet de RDS-processor dat er minstens één fout bit werd ontvangen en zullen de gegevens van de groep volledig genegeerd worden. De processor wacht nu af tot er vier goede syndromen in de juiste volgorde worden gedetecteerd en gaat pas dan over tot het verder verwerken van de gegevens.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-17: Door de ontvangen code naast de H-matrix te plaatsen en rijen die overeen komen met een hoog bit met elkaar te EXOR-en ontstaat een tien bit breed woord, dat "syndroom" wordt genoemd.

De RDS-code uitzenden

Inleiding

De seriële digitale gegevens van het RDS-systeem kunnen natuurlijk niet zonder meer worden uitgezonden. Op de een of andere manier moeten zij gemengd worden met het signaal, dat in frequentie wordt gemoduleerd op de hoogfrequente draaggolf van de zender. De digitale gegevens moeten eerst worden omgezet in een analoog signaal, dat een veel kleinere bandbreedte heeft. Nadien moet dit analoog signaal op de een of andere manier worden samengeperst in de toch wel vrij smalle bandbreedte die voor een FM-kanaal ter beschikking staat.

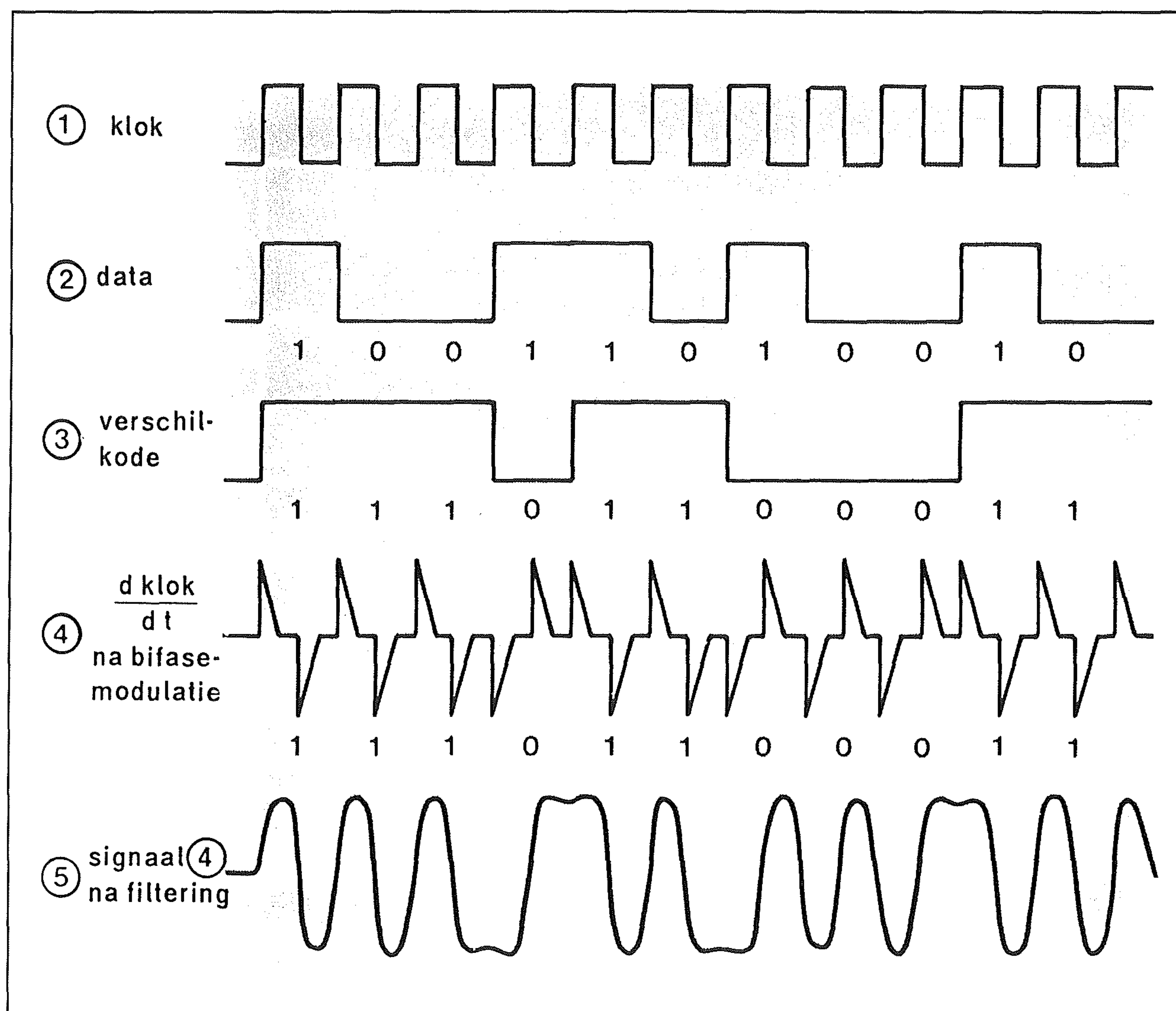
Offset	Offset Word	Syndrome
A	0011111100	1111011000
B	0110011000	1111010100
C	0101101000	1001011100
C'	1101010000	1111001100
D	0110110100	1001011000

Figuur 5/2.5-18: De vijf geldige syndroomcodes voor de vijf blokken.

Omzetten in een analoog signaal

Ook hiervoor werd nu niet bepaald een gemakkelijk systeem gekozen! Aan de hand van de grafieken in figuur 5/2.5-19 wordt het proces stap na stap besproken. Het grote probleem is dat de RDS-gegevens serieel worden aangeleverd en dat tien hoge bits achter elkaar als één langgerekt hoog signaal in de datastroom verschijnen. In de RDS-ontvanger moet echter de clock herwonnen kunnen worden uit de datastroom. Dat lukt niet, tenzij men op de een of andere manier de clock in het signaal kan verwerken. De seriële datastroom (2) wordt eerst vergeleken met het clock-signaal (1). Er ontstaat een verschilsignaal (3), dat nog steeds digitaal is. Dit verschilsignaal verandert van logische waarde bij de positieve flank van het clock-signaal, op voorwaarde dat het databit op dat moment "H" is of wordt. Ook in dit verschilsignaal is de clock afwezig.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

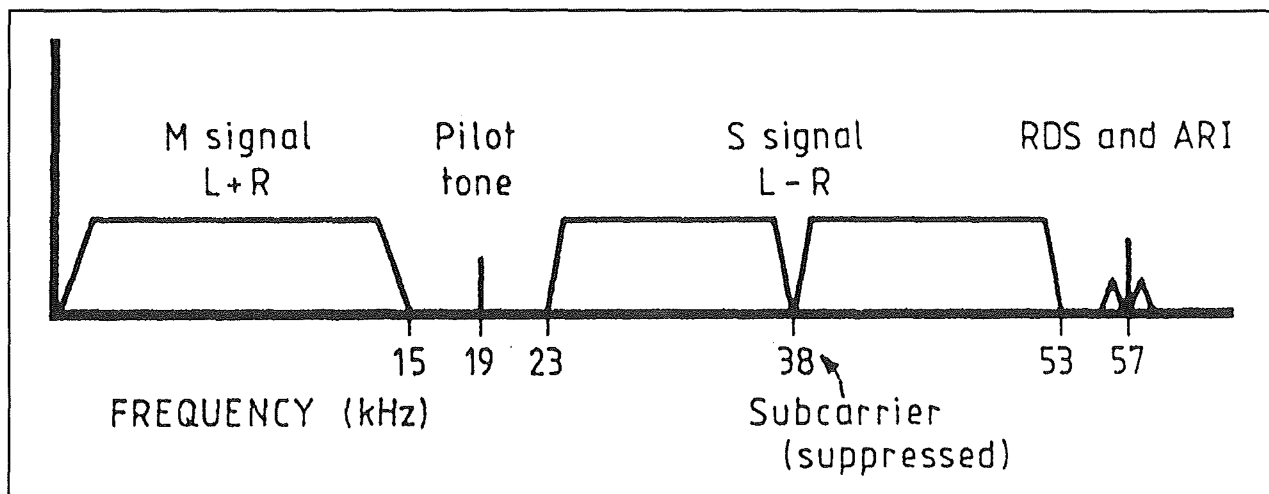


Figuur 5/2.5-19: Het omzetten van de seriële datastroom in een analoog signaal.

Vervolgens wordt dit verschilsignaal (3) in bi-phase gemoduleerd. Het clock-signaal wordt gedifferentieerd, waardoor smalle naaldpulsjes ontstaan gedurende de logische overgangen. Dit gedifferentieerde signaal wordt vervolgens met het digitale verschilsignaal (3) vergeleken. Is dit signaal "H", dan worden de gedifferentieerde pulsjes zonder meer doorgelaten. Is dit signaal echter "L", dan worden de gedifferentieerde pulsjes geïnverteerd.

Op deze manier ontstaat het signaal dat in figuur 5/2.5-19 met (4) is gekenmerkt. In dit signaal is dus zowel het clock-signaal aanwezig als de datastroom.
In de laatste stap wordt het bi-phase signaal (4) door een laagdoorlaat filter gevoerd met een afsnijfrequentie van 1,1875 kHz. Hierdoor worden de steile signaalovergangen afgevlakt, zodat er een min of meer sinusvormig signaal (5) ontstaat.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-20: Het volledige frequentie-spectrum van een stereo-FM zender, die ARI en RDS uitzendt.

Moduleren

Dit signaal wordt vervolgens in amplitude gemoduleerd op een draaggolf met een frequentie van 57 kHz, waarbij deze draaggolf volledig wordt onderdrukt. Het frequentiespectrum bestaat dus slechts uit de twee zijbanden. De frequentie van de draaggolf is natuurlijk niet willekeurig gekozen. Het is de derde harmonische van de bekende piloottoon van 19 kHz, die bij stereo-FM wordt uitgezonden. Bovendien is de 57 kHz de frequentie waarop het in Duitsland ontwikkelde ARI-systeem wordt uitgezonden. Dit systeem kan onder meer een LED'je laten oplichten als een zender verkeersinformatie uitzendt. Het volledige frequentiespectrum van een FM-zender, die een stereo-signaal uitzendt en bovendien RDS- en ARI-gegevens is getekend in figuur 5/2.5-20.

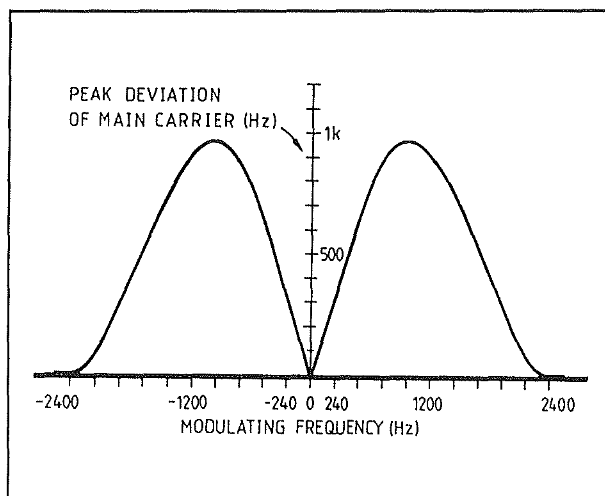
Tussen 50 Hz en 15 kHz ligt het mono geluidssignaal. Op 19 kHz ligt het zeer smalbandige piloottoontje dat noodzakelijk is bij stereo-uitzendingen. Het stereosignaal wordt gemoduleerd op een onderdrukte draaggolf van 38 kHz, de dubbele frequentie van de piloottoon.

Het frequentiespectrum wordt begrensd van 23 kHz tot 53 kHz. Op precies 57 kHz ligt de piloottoon van het ARI-systeem, de RDS-informatie ligt dubbel zijbandig rond deze frequentie.

Eisen aan het RDS-signaal

Aan het in amplitude gemoduleerde RDS-signaal worden nogal wat eisen gesteld. Op de eerste plaats mag dit signaal natuurlijk niet interfereren met het ARI-signaal. Vandaar dat tussen de draaggolven van 57 kHz van het ARI- en het RDS-systeem een fasedraaiïng van 90° wordt doorgevoerd. Het ARI-signaal is zeer smalbandig, namelijk 57 kHz +/- 125 Hz en natuurlijk mag de frequentie-inhoud van het RDS-signaal deze smalle band niet storen. Vandaar dat een heleboel filters worden ingebouwd, die de modulatiebandbreedte van het RDS-signaal beperken tot dat wat in figuur 5/2.5-21 getekend is. Hieruit blijkt duidelijk dat er rond de draaggolf nauwelijks energie in het signaal zit, zodat het ARI-signaal niet gestoord wordt. De bandbreedte van het RDS-signaal wordt beperkt tot 57 kHz +/-

2,4 kHz. Op deze manier loopt het frequentie-spectrum van 54,6 kHz tot 59,4 kHz, zodat het stereo-signaal met een maximale frequentie van 53 kHz niet gestoord wordt.



Figuur 5/2.5-21: Een uitvergroting van figuur 5/2.5-20 rond de 57 kHz draaggolf van ARI en RDS.

Fundamenten van de RDS-elektronica

Inleiding

Het zal duidelijk zijn dat de elektronica, die noodzakelijk is voor het coderen en decoderen van de RDS-gegevens, zeer gecompliceerd is en zich niet voor nabouw leent. Toch is het natuurlijk interessant om even stil te staan bij de blokschematische technieken die worden toegepast, zowel aan de zender- als aan de ontvangerzijde.

De zender elektronica

Het verwerkingsproces van seriële datastroom naar analoog signaal, voorgesteld in figuur 5/2.5-19, kan op een vrij eenvoudige manier worden uitgevoerd volgens het blokschema van figuur 5/2.5-22. Basis van het systeem is het 19 kHz piloottoonsignaal. Dit wordt gebruikt voor het genereren van de 57 kHz draaggolf van het RDS-systeem.

Uit dit signaal wordt door frequentiedeling door 48 het clock-signaal met een frequentie van 1,1875 kHz afgeleid.

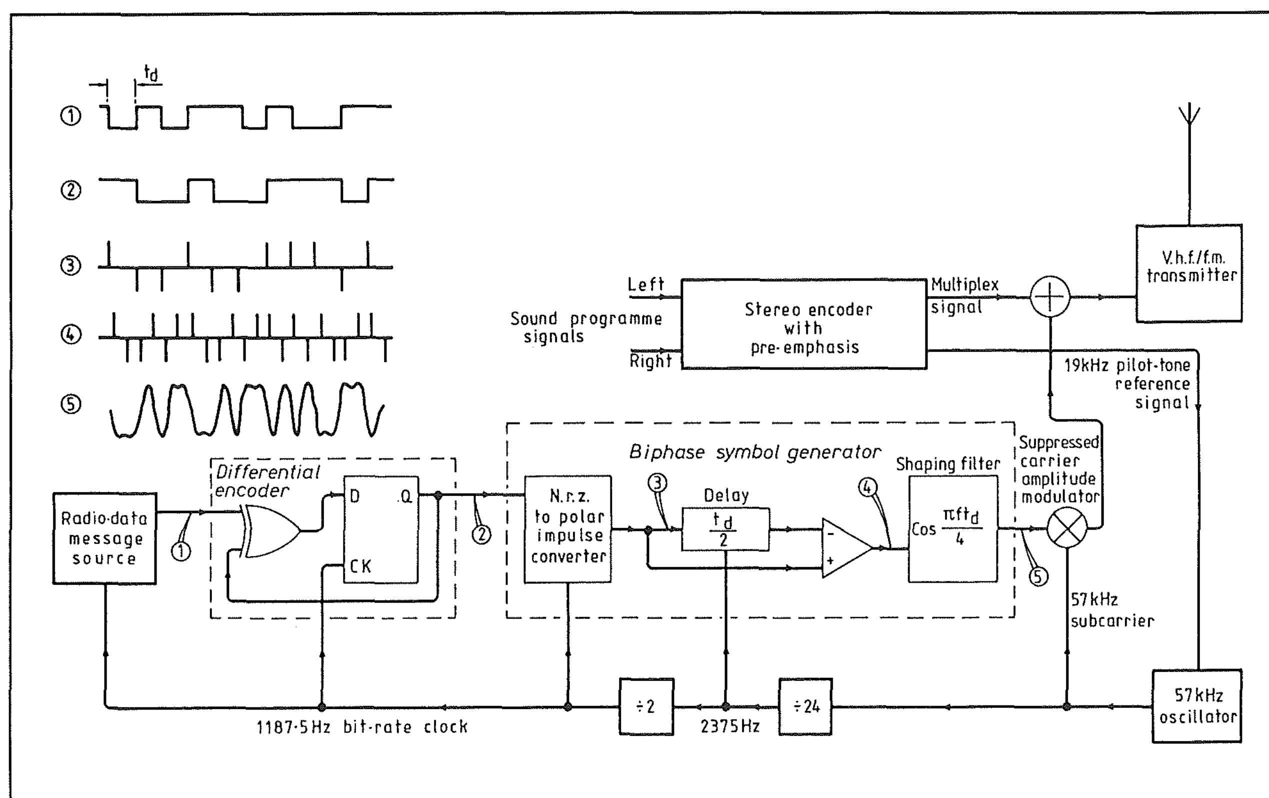
Door een zeer eenvoudige schakeling, bestaande uit een poort en een type-D flipflop, kan uit de seriële datastroom en het clock-signaal het digitaal verschilsignaal worden gevormd. Ook de schakeling voor het genereren van de bi-phase gemoduleerde pulsen is vrij eenvoudig. Het digitaal verschilsignaal (2) wordt samen met de clock aangeboden aan een pulsomzetter en nadien via een vertraging over één clock-periode en een comparator omgezet in het bi-phase signaal (4). Dit wordt vervolgens door een laagdoorlaat filter gevoerd, waardoor het analoog signaal (5) ontstaat.

Dit wordt in amplitude gemoduleerd op de draaggolf van 57 kHz. Door middel van scherpe filters wordt de draaggolf onderdrukt en de bandbreedte beperkt. Nadien wordt dit signaal gemengd met het stereo-multiplex signaal MUX en aan de zender aangeboden.

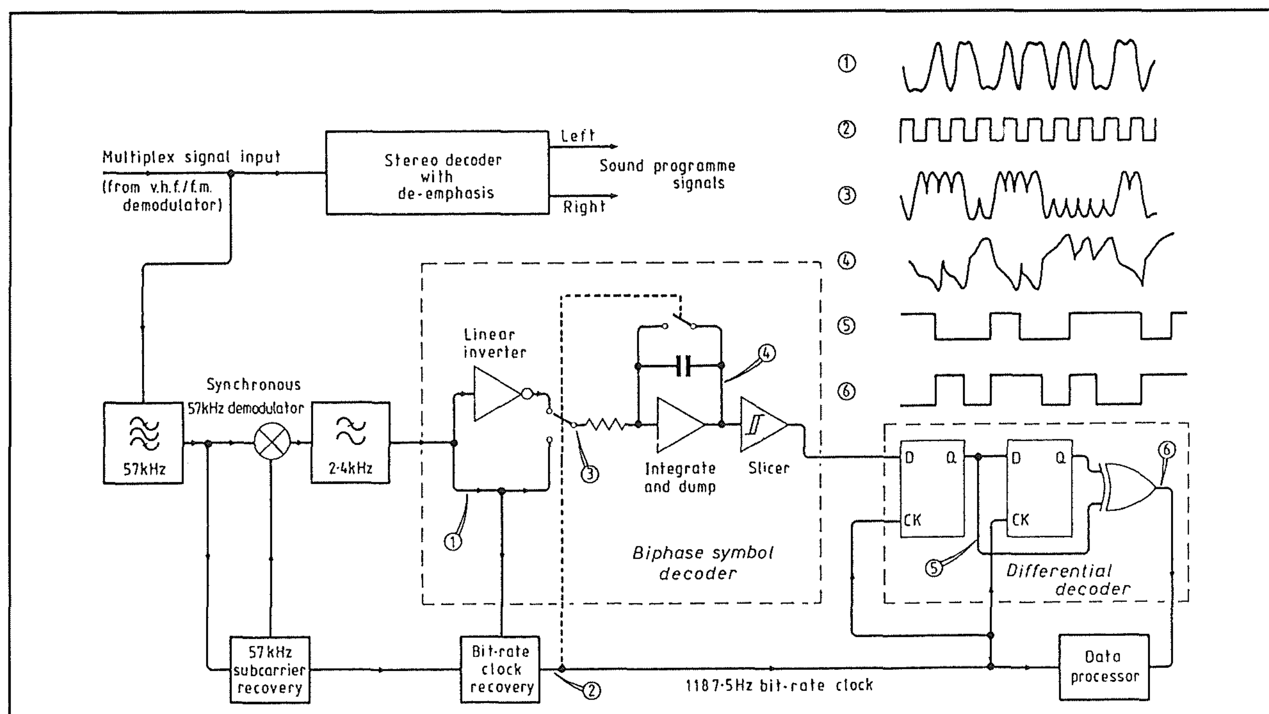
De ontvanger elektronica

Het blokschema van de elektronica voor de data-herwinning aan de ontvangerkant is getekend in figuur 5/2.5-23. Het ingangssignaal is het stereo-multiplex signaal dat afkomstig is van de FM-demodulator. Uit de piloottoon van 19 kHz, die hierin aanwezig is, wordt door frequentievermenigvuldiging de draaggolf van 57 kHz herwonnen. Dit signaal wordt gebruikt om de RDS-gegevens te demoduleren.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

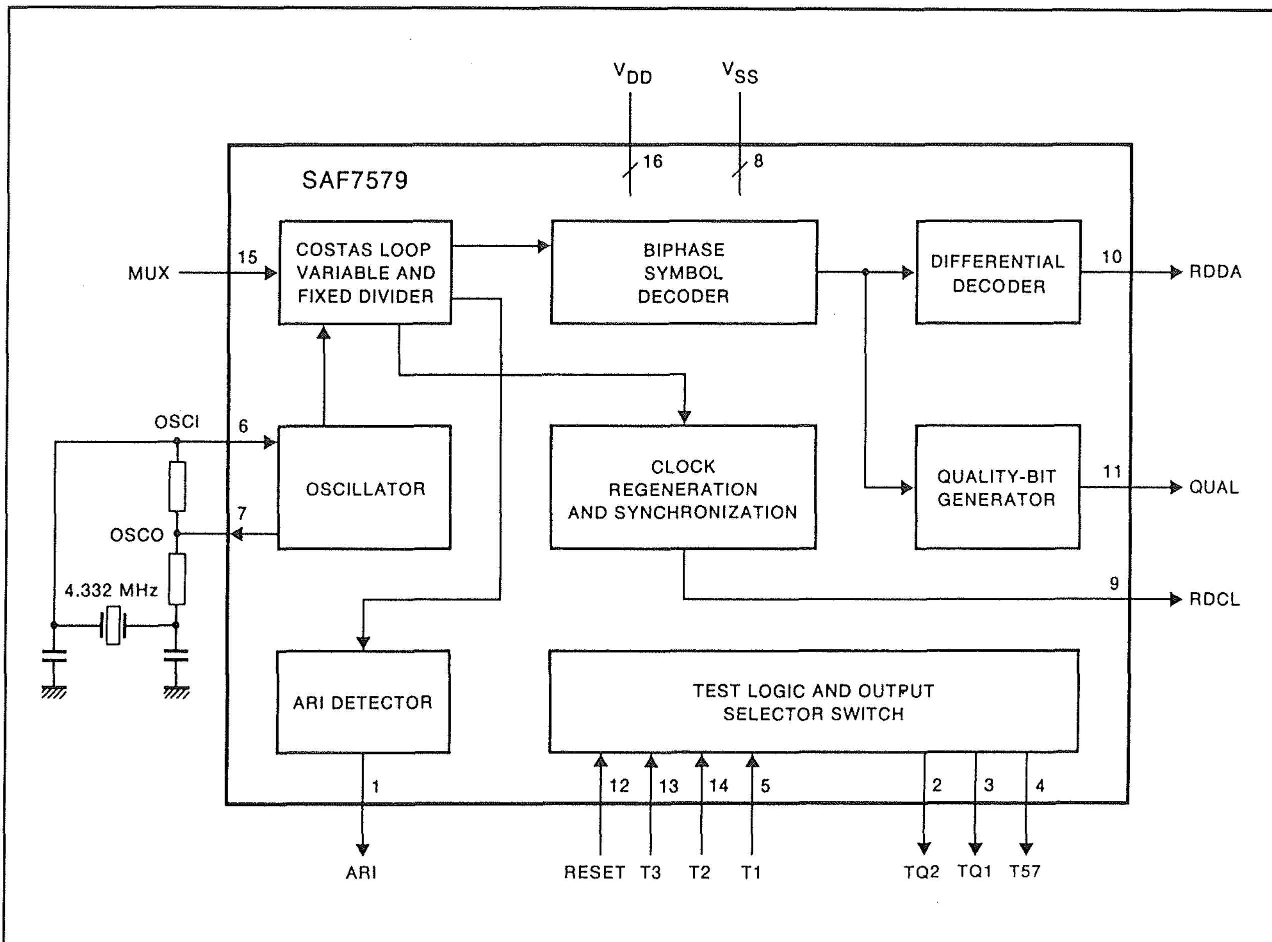


Figuur 5/2.5-22: De blokschematische verwerking van de RDS-gegevens aan de zenderzijde.

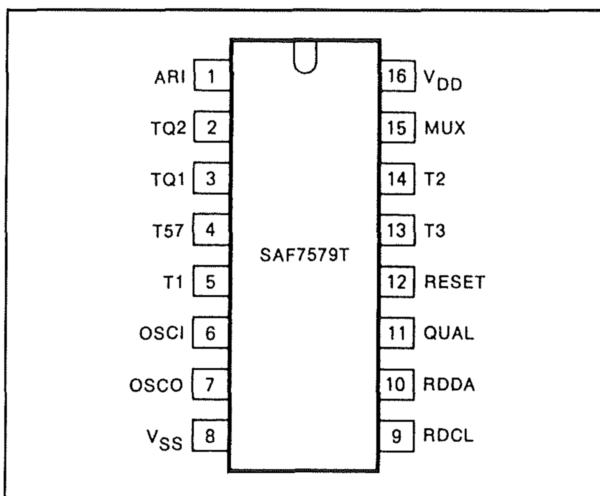


Figuur 5/2.5-23: De herwinning van de seriële datastroom in de ontvanger.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



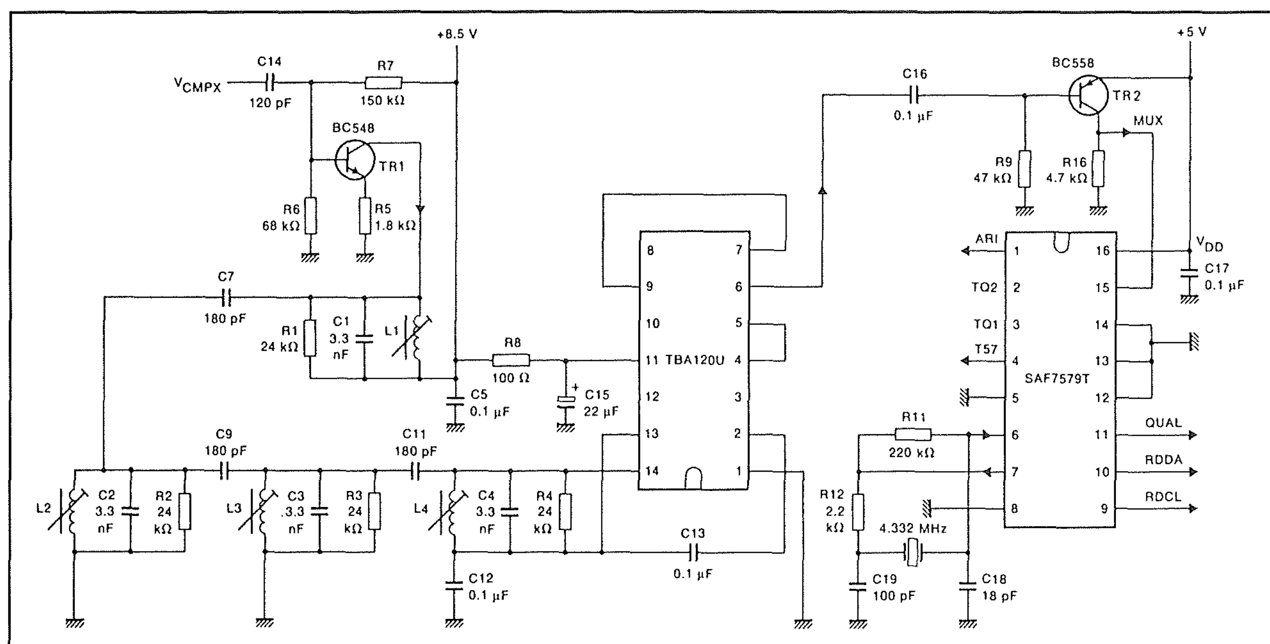
Figuur 5/2.5-24: Het intern blokschema van de RDS-decoder SAA/F 7579T.



Figuur 5/2.5-25: De aansluitgegevens van de SAA/F 7579T.

Nadien worden zij door een zeer smalbandig filter gevoerd met een centrale frequentie van 2,4 kHz. Uit de herwonnen draaggolf van 57 kHz kan door digitale frequentiedeling heel eenvoudig de clock van 1,1875 kHz (2) worden herwonnen. Via een vrij eenvoudige analoge schakeling, bestaande uit enige operationele versterkers en elektronische schakelaars, kan het digitaal verschilsignaal (5) herwonnen worden. Middels twee flip-flop's en een poortje kan hieruit de seriële RDS-stroom afgeleid worden. Deze wordt, samen met de clock, aangeboden aan de digitale RDS-processor.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-26: De door Philips voorgestelde schakeling van een RDS-decoder.

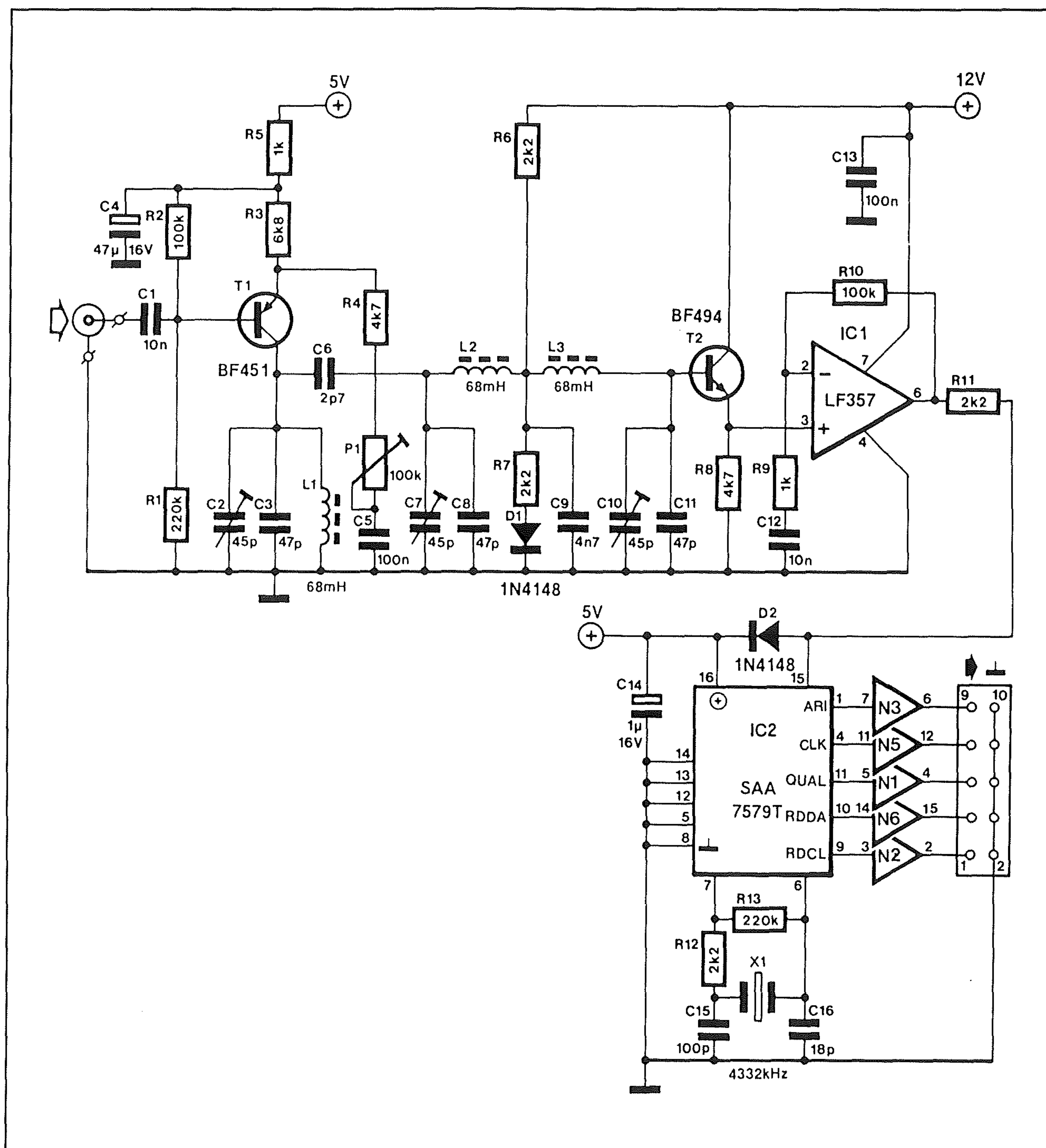
De RDS-decoder SAA/F 7579T

Door diverse Europese IC-fabrikanten, waaronder Philips, wordt een volledig geïntegreerde RDS-decoder aangeboden. Het typenummer van deze schakeling is SAF 7579T of SAA 7579T. Dit IC leidt uit het stereo-multiplex signaal (MUX) zonder veel externe onderdelen de RDS-clock en de seriële datastroom af. Het intern blokschema van deze schakeling is getekend in figuur 5/2.5-24, de aansluitgegevens in figuur 5/2.5-25.

Een korte beschrijving van de penfuncties:

- Pen 1, ARI:
  Uitgang die "H" wordt als de ARI-draaggolf van 57 kHz aanwezig is.
- Pennen 2 en 3, test:
  Twee uitgangen voor testdoeleinden.
- Pen 4, 57 kHz:
  Op deze pen staat de herwonnen draaggolf van 57 kHz ter beschikking.
- Pennen 5, 13 en 14, test:
  Drie ingangen waarop testsignalen worden aangesloten.
- Pennen 6 en 7, OSC:
  Op deze pennen wordt een oscillatorschakeling aangesloten, met een kristal van 4,332 MHz als basis.
- Pen 8, GND:
  Massa-aansluiting van de schakeling.
- Pen 9, RDCL:
  Op deze pen staat de herwonnen RDS-clock ter beschikking.
- Pen 10, RDDA:
  Op deze pen kan de seriële RDS-datastroom afgenomen worden.
- Pen 11, QUAL:
  Deze pen wordt "H" als het ontvangen signaal van goede kwaliteit is.
- Pen 12, RESET:
  Een reset die te maken heft met de signalen die op de test-ingangen worden aangesloten.
- Pen 15, MUX:
  Op deze pen wordt het stereo multiplex signaal aangesloten.
- Pen 16, V_{DD}:
  Voedingsspanning, maximaal 5,5 V.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-27: Een tweede schema van een RDS-decoder, ontwikkeld door Elektuur.

Opgemerkt moet worden dat het signaal op pen 11, QUAL, niets te maken heeft met de foutherkenning van de datastroom die in het RDS-protocol is ingebouwd! Deze uitgang geeft alleen een indicatie over het goed of slecht werken van de bi-phase demodulator.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

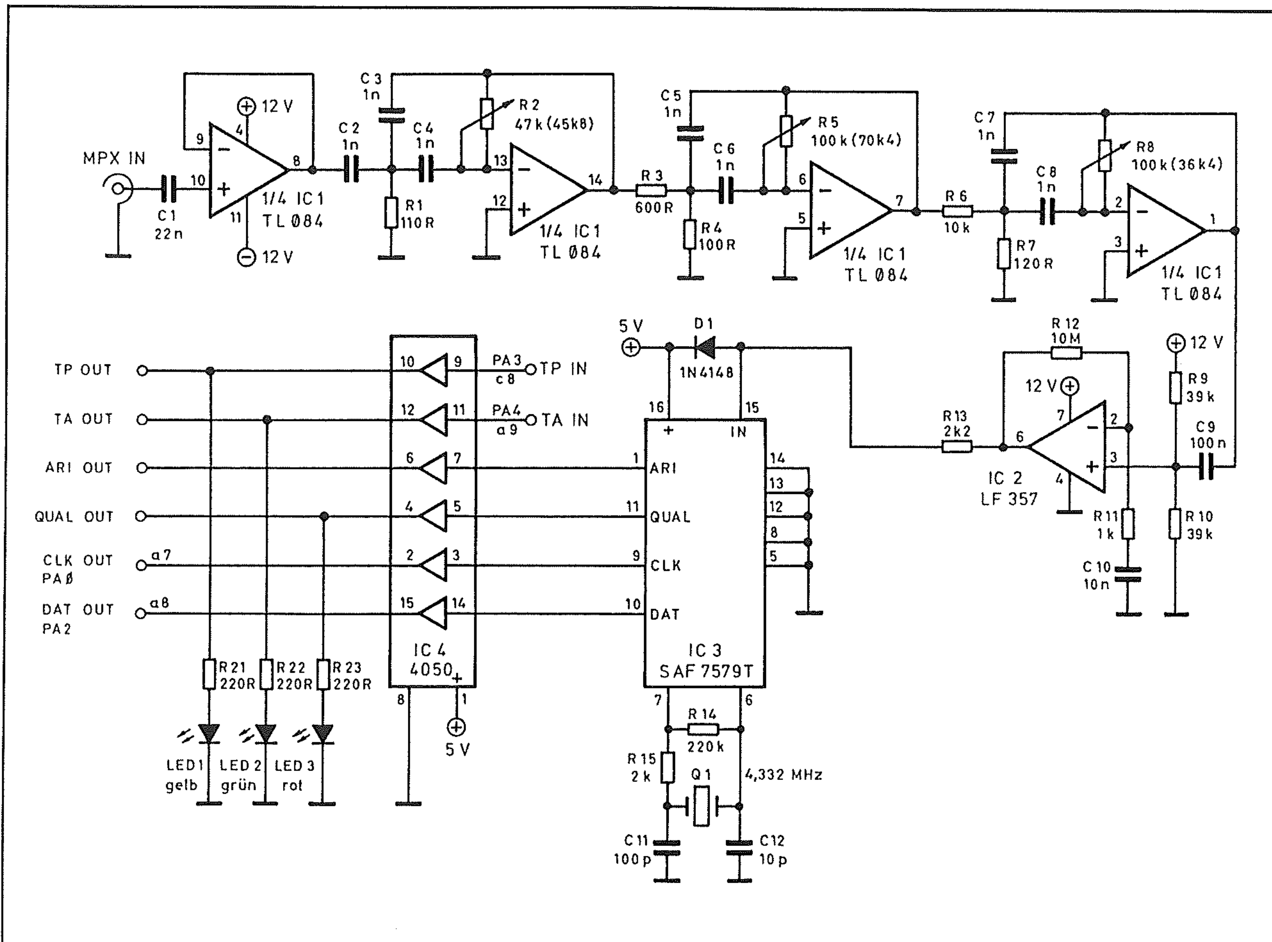
Praktische decoderschakelingen

Met de SAA/F 7579T kan men op een heel eenvoudige manier een RDS-decoder samenstellen. In figuur 5/2.5-26 is het door Philips geadviseerde schema voorgesteld. De ingang van de schakeling wordt aangesloten op de FM-demodulator uitgang van de tuner. Rond de TBA 120U is een filtersectie opgebouwd, die er voor zorgt dat alleen het frequentiespectrum van de RDS-informatie wordt doorgekoppeld naar de RDS-decoder. De gebruikte spoeltjes zijn van TEKO en wel 126ANS/A3561HM.
In figuur 5/2.5-27 is een alternatief schema getekend, ontwikkeld door de ontwerpafdeling van het maandblad Elektuur. De filterkringen zijn nu rond transistoren gebouwd en wel onder de vorm van een drievoudig banddoorlaat filter. Transistor T1 is een versterker, die het MUX-signaal van de FM-demodulator versterkt. De versterking van deze trap kan worden ingesteld door middel van de instelpotentiometer P1. Nadien volgt het banddoorlaat filter, dat hoogohmig wordt afgesloten met de emittervolger T2. De instelling van deze trap wordt verzorgd met behulp van de weerstanden R6 en R7 en de diode D1. De daarop volgende operationele versterker heeft een versterking van 100. Het gevolg is dat deze schakeling volledig overstuurd wordt en er op de uitgang een semi-digitaal signaal verschijnt. Dit wordt aangeboden aan de ingang van de RDS-decoder, waarbij het netwerkje R11/D2 er voor zorgt dat deze ingang niet overstuurd wordt. De uitgangen van de decoder worden afgesloten met digitale buffers, zodat mooie, TTL-compatibele signalen ter beschikking staan. Wie problemen heeft met spoelen, kan gebruik maken van het schema van figuur 5/2.5-28. Dit door het Duitse tijdschrift Elrad ontwikkeld schema maakt gebruik van RC-filters, opgebouwd rond operationele versterkers. Na de bufferversterker IC1a staan drie banddoorlaat filters van de tweede orde, zodat in totaal een zeer scherp zesde orde filter ontstaat met een bandbreedte van slechts 4,8 kHz rond de centrale frequentie van 57 kHz. Na deze filters volgt weer een begrenzer, opgebouwd rond IC2. Deze zorgt voor een semi-digitale aansturing van de RS-decoder, waarbij weer gebruik wordt gemaakt van een R/D-begrenzer om de ingang van dit IC niet te oversturen.

De rest is processor-werk!

Met de beschreven decoder-schakelingen kan men de seriële RDS-stroom herwinnen, alsmede de RDS-clock. Dat is al heel wat, maar natuurlijk heeft men daar in de praktijk nog niet veel aan. De seriële stroom moet immers op geldigheid onderzocht worden door het berekenen van de syndromen, de diverse blokken moeten herkend worden, de groepscodes moeten onderzocht worden en nadien moeten de nuttige gegevens uit de groepen omgezet worden in signalen waar men wat aan heeft. Het zal duidelijk zijn dat dit typische werkzaamheden zijn, waar het gebruik van een microprocessor onontbeerlijk is. De industrie heeft uiteraard speciale processoren ontwikkeld, waarbij het volledige bedrijfssysteem in de chip geïntegreerd is. Een typisch voorbeeld is de door Mitsubishi ontwikkelde 16 bit processor M37702. Deze processor heeft 32 kB ROM aan boord, alsmede 2 kB RAM. Bovendien is de adresbus in staat nog eens 16 MB extern geheugen aan te sturen. De interne software is in staat 103 RDS-functies te evalueren en via 68 uitgangspoorten aan de buitenwereld aan te bieden.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-28: De derde RDS-decoder, ontworpen door het Duitse tijdschrift Elrad.

De schakeling bevat verder een acht kanaals analoog naar digitaal omzetter met een resolutie van 8 bit, acht timers van 16 bit, drie externe interrupts en twee synchroon of asynchroon werkende UART's. Zoals getekend in figuur 5/2.5-29 vormt een dergelijke schakeling het hart van een modern communicatiesysteem, waarbij de RDS-ontvanger slechts één klein onderdeel vormt.

RDS-module

Het zal duidelijk zijn dat er voor zelfbouwers weinig te verrichten valt op het gebied van RDS! Door de Duitse firma Conrad Electronic wordt echter voor ongeveer *f* 60,00 een compleet gemonteerde RDS-module op de markt gebracht, die gebruikt kan worden voor het decoderen en op een LCD-display zichtbaar maken van de belangrijkste RDS-functies. In figuur 5/2.5-30 wordt deze module voorgesteld. Het geheel kan gevoed worden uit een voedingsspanning van 12 V en verbruikt ongeveer 20 mA stroom. De module moet aangesloten worden op de MUX-uitgang van een FM-tuner. Dat is natuurlijk een probleem, want hiervoor zal men in de meeste gevallen de tuner open moeten slopen en op zoek moeten gaan naar de uitgang van de FM-demodulator. Heeft men deze echter eenmaal gevonden, dan volstaat een eenvoudig afgeschermd snoertje tussen deze uitgang en de modu-

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

le om de onderstaande RDS-functies te decoderen:

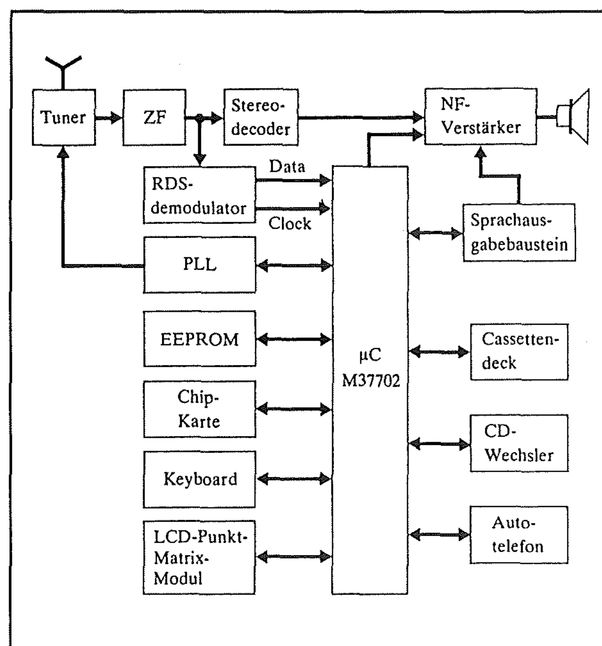
- PS:
  de naam van de zender verschijnt automatisch op het display als op een RDS-zender wordt afgestemd.
- PTY:
  door een druk op een knop schakelt de module over op het weergeven van de programma-soort, dus klassiek, sport, etc.
- CT:
  door een tweede druk op de knop worden data- en tijd-gegevens zichtbaar.
- RT:
  de Radio Text informatie wordt onder de vorm van een lichtkrant op de acht karakters van het display afgebeeld.
- AF:
  de alternatieve frequenties, waarop hetzelfde programma wordt uitgestraald, verschijnen een na een op het display.

Traffic Message Channel

Inleiding

Voor het uitzenden van verkeersinformatie wordt nog steeds ingebroken in een lopend programma. Hetgeen zeer vervelend is voor luisteraars die alleen naar de muziek willen luisteren en geen behoefte hebben aan deze informatie. Bovendien is men natuurlijk vrij beperkt in de tijd die men aan verkeersmeldingen kan besteden. Het kan natuurlijk nooit de bedoeling zijn dat het lopende programma voortdurend wordt onderbroken door verkeerspraatjes. TMS, een zeer krachtige functie van RDS, moet aan deze situatie een einde maken. Dit door Bosch en Philips ontwikkelde systeem integreert de verkeersmeldingen onder digitale vorm in de RDS-stroom. Deze codes worden in de ontvanger met de modernste technieken omgezet in hoorbare informatie. Daarnaast biedt het TMC-systeem echter nog tal van zeer interessante functies:

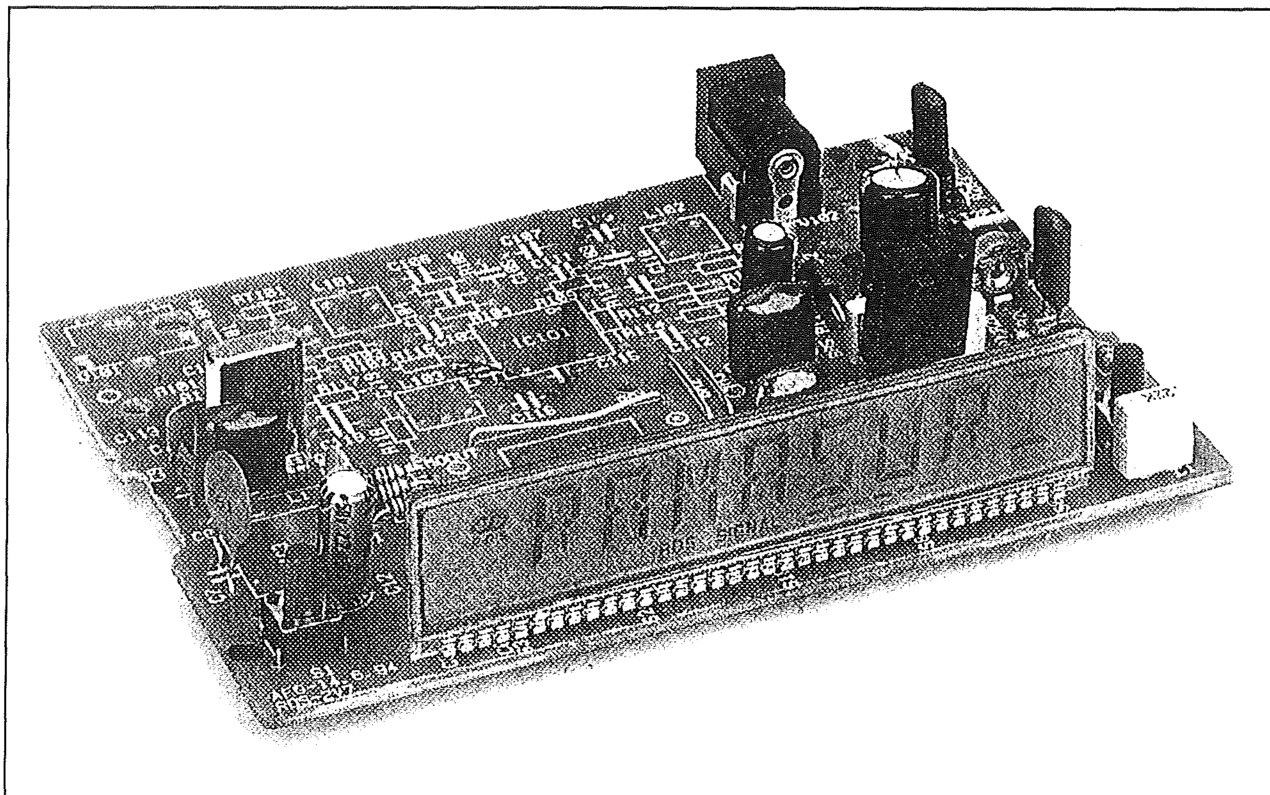
- De verkeersmeldingen kunnen in de RDS-ontvanger in een geheugen worden opgeslagen en zo vaak "afgespeeld" als nodig is. Men kan dus de RDS-ontvanger op stand-by zetten en een uurtje voor men vertrekt even snel alle verkeersmeldingen van de laatste uren achter elkaar beluisteren.



Figuur 5/2.5-29: De RDS-processor M37702 vormt het hart van een intelligente RDS-radio van de derde generatie, waarmee alle functies die het RDS-systeem biedt volledig uitgebuit kunnen worden.

Het is mogelijk selectief te werk te gaan. Via een toetsenbord kan men intoetsen dat men alleen geïnteresseerd is in alle verkeersmeldingen die betrekking hebben op een bepaald gebied.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-30: De RDS-module die voor ongeveer zestig gulden door Conrad Electronic op de markt wordt gebracht.

De RDS-elektronica slaat dan alleen deze informatie op in het geheugen. Bovendien kan men nog aangeven in welke richting men een bepaalde snelweg zal gaan berijden. De TMC-codering heeft de mogelijkheid ingebouwd om de verkeersinformatie over het verkeer van noord naar zuid anders te coderen dan de verkeersinformatie over de verkeersstroom van zuid naar noord.

- De verkeersmeldingen kunnen niet alleen ten gehore worden gebracht, maar ook naar een monitor worden gestuurd, waar zij dan onder de vorm van een tekst verschijnen en eventueel uitgeprint kunnen worden.
- Het is mogelijk de meldingen door de RDS-ontvanger te laten vertalen in de eigen taal, zodat men in geheel Europa in het Nederlands geïnformeerd wordt over de toestand van het wegennet.

Catalog of Events

Om een en ander te realiseren heeft de EBU een catalogus opgesteld van ongeveer 800 korte meldingen, die vertaald kunnen worden naar een digitale code. Uit deze meldingen kunnen ongeveer 1.000 verschillende zinvolle mededelingen samengesteld worden. Al deze gegevens zijn gestandaardiseerd in de zogenoemde “Catalog of Events”. Zendt het TMC-systeem bijvoorbeeld de digitale code 117 uit, dan komt dit overeen met de mededeling “Traag rijdend verkeer over twee kilometer”. Omdat al deze meldingen digitaal onder de vorm van nummers gecodeerd kunnen worden, is het mogelijk hiermee een spraaksynthesizer te stu-

ren, die de code's omvormt tot verstaanbare boodschappen. Het enige dat hiervoor nodig is, is een vrij groot ROM-geheugen, waarin iedere TMS-code wordt omgezet in foneemcodes, die de synthesizer sturen.

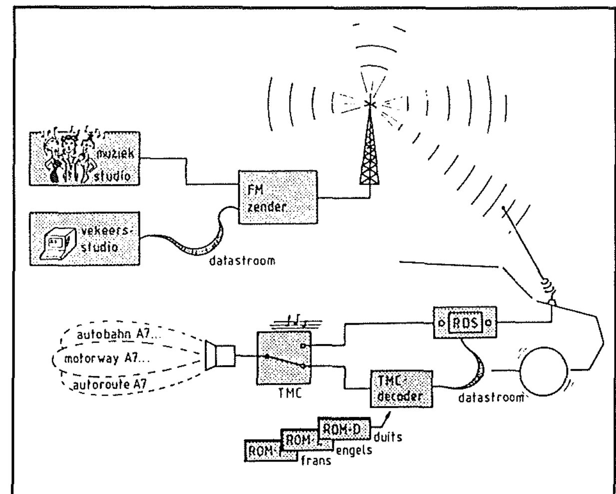
Plaatscodering

Om alleen plaatselijke informatie te kunnen ontvangen moet de TMC-code natuurlijk geografische informatie bevatten. Vandaar dat de EBU heel Europa heeft ingedeeld in overzichtelijke vierkantjes, die ieder een andere 16 bit brede code toegewezen kregen. Maar bovendien wordt de code uitgebreid met gegevens over snelwegen en zelfs afritten. Tot slot wordt de rijrichting gedecodeerd door een extra bit. Is dit bit "L", dan geldt de informatie voor verkeer dat van noord naar zuid of van west naar oost rijdt. Een "H" komt overeen met de tegengestelde rijrichting.

Blokschema van het TMC-systeem

In figuur 5/2.5-31 is de blokschematische samenstelling van een TMC-systeem getekend. De gegevens over de verkeerssituatie worden via de verkeersstudio aangeleverd onder de vorm van TMC-gegevens. Deze worden gemengd met de overige RDS-gegevens en met het zendersignaal gemoduleerd. In de auto-radio is een speciale TMC-decoder ingebouwd, die wordt gestuurd door ROM-geheugens onder de vorm van chip-card's. In iedere card worden de digitale codes vertaald naar foneemgegevens, die in de spraaksynthesizer in de TMC-decoder worden omgezet in verstaanbare spraak.

Door diverse fabrikanten zijn reeds RDS-ontvangers ontwikkeld, die voorzien zijn van een TMC-decoder en waarvoor chip-card's voor verschillende talen beschikbaar zijn. In figuur 5/2.5-32 zijn bijvoorbeeld dergelijke kaartjes voorgesteld, die door Blaupunkt ontwikkeld zijn voor Duits, Engels en Frans.



Figuur 5/2.5-31: Blokschematische voorstelling van het RDS-TMC systeem.

Proefproject BEVEI

In 1992 werd in Duitsland in het gebied rond Keulen met het eerste proefproject rond RDS-TMC gestart.

Dit project, met de naam "BEVEI", afkorting van "Bessere VerkehrsInformation" werd ondersteund door de Duitse zenders WDR en SWF. Het project had ongeveer 460 kilometer snelweg onder controle, waarbij de verkeerssituatie volledig automatisch door 250 sensoren werd geregistreerd.

Een centrale computer in Leverkusen berekende aan de hand van de sensormeldingen waar problemen met de verkeersdoorstroming aanwezig waren.

Deze gegevens werden doorgestuurd naar Düsseldorf, waar zij werden omgezet in RDS-data en werden doorgestuurd naar de zenders.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

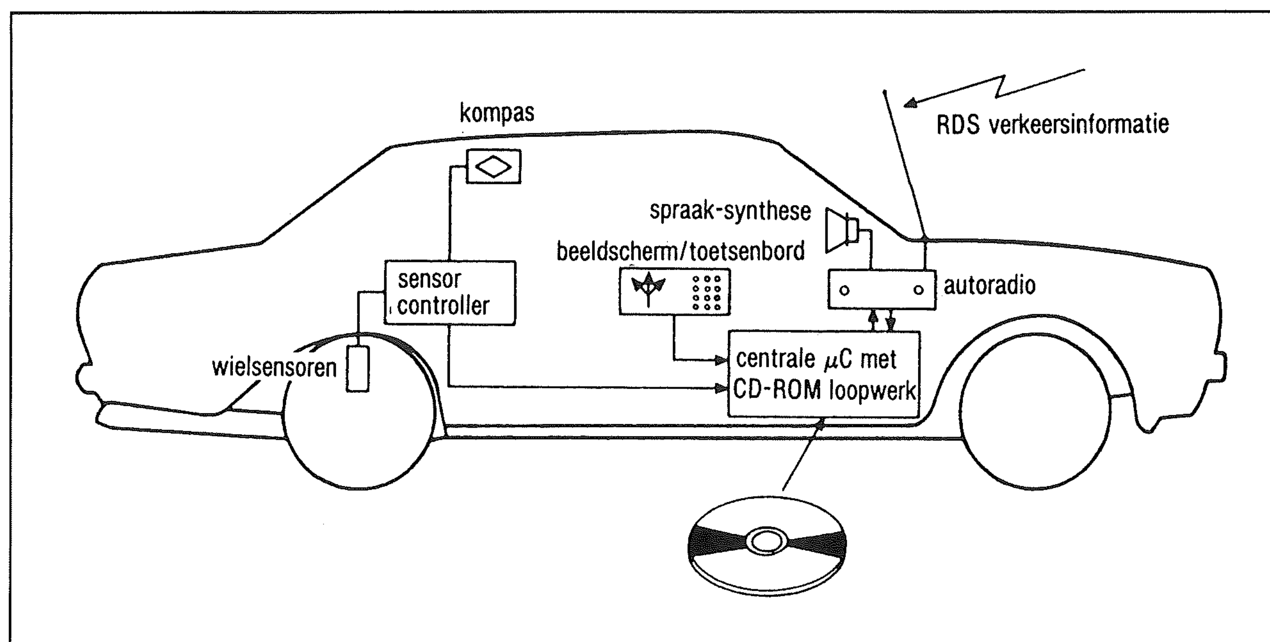


Figuur 5/2.5-32: Chip-card's voor verschillende talen zijn reeds ontwikkeld door onder andere Blaupunkt.

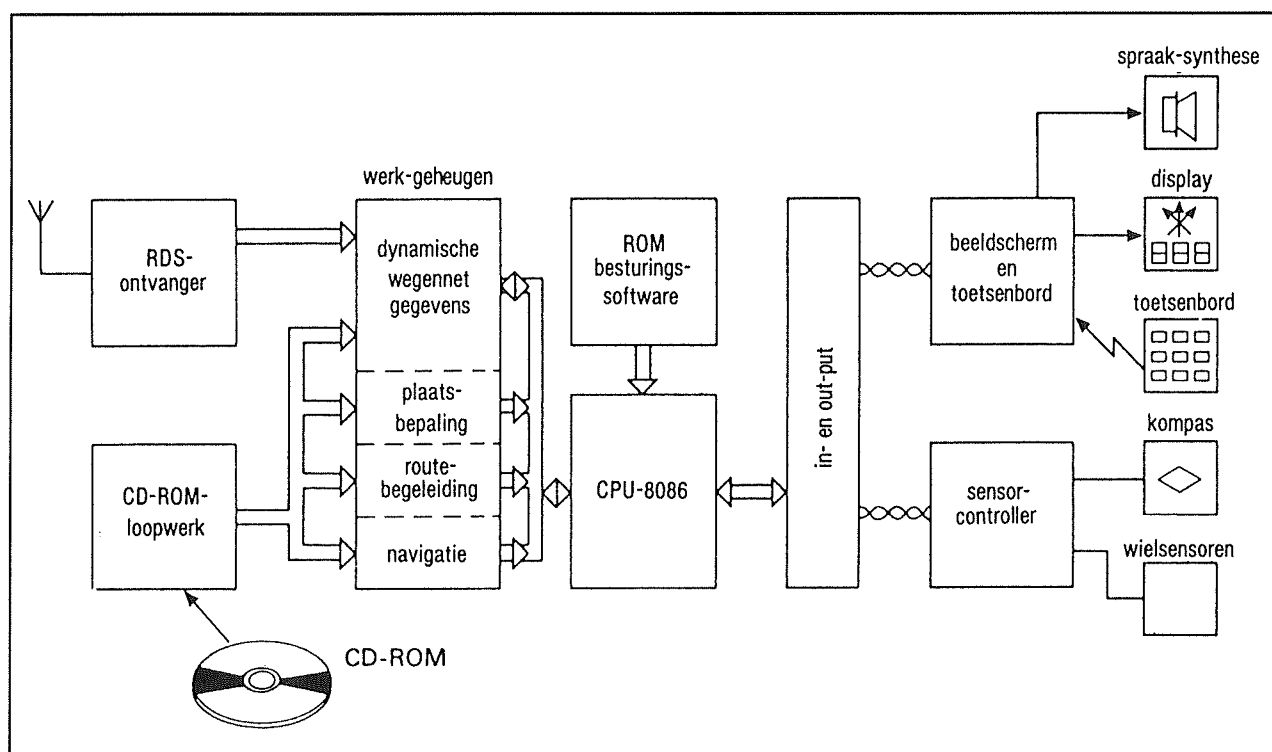
RDS-TMC in Nederland
Ook in Nederland is het TMC-systeem reeds in beperkte mate ingevoerd. In 1992 werd een proef gestart in de zogenoemde "Rijn Corridor", het gebied van Rotterdam tot aan het Duitse Ruhrgebied. Deze proef, een samenwerking tussen Rijkswaterstaat, de Rijkspolitie en Philips, zorgt ervoor dat de RDS-TMC gegevens te ontvangen zijn via de zenders van Radio 2, 3 en 4.

TMC en het Travel Pilot systeem
TMC biedt echter nog meer! Door Blaupunkt wordt gewerkt aan een koppeling tussen het door deze fabrikant (in samenwerking met Bosch) ontwikkelde navigatiesysteem "Travel Pilot" en RDS-TMC.
In het kort komt dit op het volgende neer (zie ook figuur 5/2.5-33).
In de auto zijn wielsensoren, een magneetsonde en een elektronisch kompas aanwezig.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System



Figuur 5/2.5-33: Door een koppeling tussen de “Blaupunkt Travel Pilot” en RDS-TMC ontstaat een zeer krachtig navigatiesysteem voor de auto.



Figuur 5/2.5-34: Het blokschema van een geïntegreerde koppeling tussen de Travel Pilot en RDS-TMC.

2.5 Het principe van RDS, Radio Data System

Deze sensoren meten de sterkte en de richting van het magnetisch veld van de aarde, de richting waarin de auto zich verplaatst, de afstand die wordt afgelegd en de bochten die worden gemaakt. Al deze gegevens worden in een computer verwerkt, zodat het systeem tamelijk nauwkeurig weet waar de auto zich bevindt. Het systeem bevat een CD-ROM drive, waarin een CD'tje gelegd wordt dat het volledig wegennet van een land bevat. Op een beeldscherm wordt het wegennet rond de plaats waar men zich bevindt afgebeeld, alsmede de route die gereden moet worden om via de kortste weg naar een bepaalde bestemming te rijden. Een dergelijk navigatiesysteem zou ideaal zijn als men zich alleen op de weg bevond. Maar dank zij alle files en andere verkeersbelemmeringen zou een dergelijk navigatiesysteem volledig waardeloos worden, ware het niet dat er RDS-TMC bestond! De TMC-codes kunnen in het systeem geïntegreerd worden, zodat de centrale processor rekening kan houden met files en andere belemmeringen om een alternatieve route te berekenen en op het beeldscherm zichtbaar te maken.
In figuur 5/2.5-34 is de blokschematische opzet van een dergelijk geïntegreerd navigatiesysteem voor de auto voorgesteld. Het gehele systeem wordt aangeboden voor een prijs van ongeveer *f* 5.000,00.